



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 195 00 957 A 1**

②① Aktenzeichen: 195 00 957.6
②② Anmeldetag: 14. 1. 95
④③ Offenlegungstag: 25. 1. 96

⑥① Int. Cl.⁶:
G 05 B 19/042
B 60 R 16/02
F 02 D 28/00
B 60 K 31/00
// A47L 15/46, D06F
33/02, 58/28, B25J
9/18, F02D 41/26,
B23Q 15/00, G06F
9/44, 9/46

DE 195 00 957 A 1

⑤③ Innere Priorität: ③② ③③ ③①
19.07.94 DE 44 25 431.8

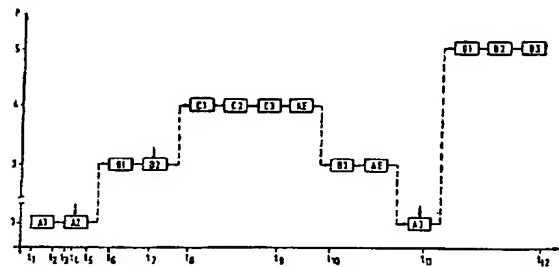
⑦① Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:

Hoenninger, Harald, Dipl.-Phys., 79114 Freiburg, DE;
Mocken, Thomas, Dipl.-Phys., 74321
Bietigheim-Bissingen, DE; Schiemann, Juergen,
Dipl.-Phys. Dr., 71706 Markgröningen, DE

⑤④ Verfahren zur Steuerung von technischen Vorgängen oder Prozessen

⑤⑦ Es wird ein Verfahren zur Steuerung von technischen Vorgängen oder Prozessen vorgeschlagen. Bei dem Verfahren wird ein komplexes Steuerprogramm von einem Mikrorechner (11) eines Steuergerätes (10) unter Echtzeit-Bedingungen abgearbeitet. Dabei ist das komplexe Steuerprogramm in Aufgabenprogramme (A bis D) eingeteilt. Jedem Aufgabenprogramm (A bis D) ist eine Priorität und ein Aktivierungsereignis zugeordnet. Es wird jeweils das aktivierte Aufgabenprogramm (A bis D) mit der höchsten Priorität für die Abarbeitung ausgewählt. Die Abarbeitung eines Aufgabenprogramms (A bis D) ist aufgrund einer späteren Anforderung der Abarbeitung eines höherpriorien Aufgabenprogramms (A bis D) unterbrechbar. Die Abarbeitung des niedrigerpriorien Aufgabenprogramms (A bis D) wird nach Beendigung der Abarbeitung des höherpriorien Aufgabenprogramms (A bis D) an der unterbrochenen Stelle fortgesetzt. Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, daß Aufgabenprogramme (A bis D) in eine Anzahl sequentiell abzuarbeitender Teilaufgabenprogramme (A1 bis D3) eingeteilt werden können und daß innerhalb von konfigurierbaren, zusammenhängenden und sich nicht überlappenden Prioritätsbereichen Aufgabenprogramme andere Aufgabenprogramme mit niedrigerer Priorität nur zwischen zwei aufeinanderfolgenden Teilaufgabenprogrammen oder an explizit vom Anwender eingefügten Unterbrechungsstellen unterbrechen können. Die Abarbeitung des später angeforderten höherpriorien Aufgabenprogramms (A bis D) wird erst dann begonnen, ...



DE 195 00 957 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 11. 95 508 064/461

22/32

Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren nach der Gattung des Hauptanspruchs. Es ist schon ein gattungsgemäßes Verfahren aus dem Artikel von Bernd Ackermann, "Anforderungen an ein Echtzeit-Betriebssystem für "eingebettete Systeme", Elektronik Nr. 18, 1992, S. 120—128 bekannt. Darin werden wichtige Merkmale von Echtzeit-Betriebssystemen für Mikrorechner enthaltende Steuergeräte erläutert. Für die Ablaufsteuerung ist ein als Prozeßmanager bezeichnetes Programm verantwortlich. Dieses steuert die Vergabe der CPU und koordiniert alle ablaufenden Aufgabenprogramme (Tasks). Der Prozeßmanager erlaubt die quasi parallele Abarbeitung mehrerer Aufgabenprogramme (Multitasking). Hierzu ist der Prozeßmanager so ausgelegt, daß er ein gerade in Abarbeitung befindliches (rechnendes) Programm jederzeit unterbrechen und ein Aufgabenprogramm, dessen Abarbeitung für das gesamte System momentan wichtiger (höher prior) ist, starten kann. Das unterbrochene Programm wird von dem Prozeßmanager an der unterbrochenen Stelle fortgesetzt, wenn die Abarbeitung von höherpriorären Programmen beendet ist. Es wird als wesentlich bei dieser Art der Ablaufsteuerung bezeichnet, daß ein gerade rechnendes Aufgabenprogramm jederzeit unterbrochen werden kann. Diese Vorgehensweise wird auch als "preemptives Scheduling oder preemptives Multitasking" bezeichnet.

Die beschriebene Ablaufsteuerung ist insbesondere für Echtzeit-Systeme, d. h. für Steuersysteme, die bestimmte Steuervorgänge innerhalb von vorgegebenen Zeitgrenzen vorgenommen haben müssen, interessant, da damit eine schnelle Reaktion auf bestimmte Ereignisse möglich ist.

Dadurch, daß ein Aufgabenprogramm an jeder beliebigen Stelle unterbrochen werden kann, entsteht jedoch ein großer Verwaltungs- und Speicheraufwand. Da ein unterbrochenes Aufgabenprogramm später an der unterbrochenen Stelle fortgesetzt werden soll, muß für das unterbrochene Aufgabenprogramm eine Anzahl von den Abarbeitungszustand kennzeichnenden Informationen in einem Stapelspeicher abgespeichert werden. Hierzu gehören der Programmzählerstand, der Inhalt der Statusregister, der Inhalt der Rechenregister usw. Zudem müssen die auf dem Stapelspeicher abgelegten temporären Daten des unterbrochenen Aufgabenprogramms erhalten bleiben, während für temporäre Daten des unterbrechenden Aufgabenprogramms zusätzlicher Platz auf dem Stapelspeicher reserviert werden muß. Da in der Ablaufsteuerung durchaus auch mehrfach verschachtelte Unterbrechungen auftreten können, ist der Speicherbedarf für den Stapelspeicher bei diesem Verfahren entsprechend hoch.

Schwierig ist auch der Austausch von Informationen zwischen unterbrochenen und unterbrechenden Aufgabenprogrammen. Greifen beide Aufgabenprogramme zu diesem Zweck auf gemeinsame Speicherbereiche zu, so kann es in einigen Fällen je nach Lage der Unterbrechungsstelle zu Datenverlusten oder Datenverfälschungen kommen. Diese Fälle sind in der Praxis oft schwer zu erkennen, ihre Absicherung erfordert aufwendige Verfahren zur Synchronisation der Datenzugriffe. Alternativ können getrennte Speicherbereiche verwendet werden. Dann müssen Kommunikationsmechanismen bereitgestellt werden, die ebenfalls aufwendig sind.

Das erfindungsgemäße Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs hat demgegenüber den Vorteil, daß der Verwaltungs- und Speicheraufwand für Unterbrechungen von Aufgabenprogrammen beträchtlich verringert ist. Dadurch, daß Aufgabenprogramme aus einem festgelegten Prioritätsbereich in Teilaufgabenprogramme unterteilt werden, die für Aufgabenprogramme des gleichen Prioritätsbereichs ununterbrechbar sind und somit gegenseitige Unterbrechungen der Aufgabenprogramme nur zwischen den Teilaufgabenprogrammen stattfinden können, muß bei solchen Unterbrechungen nur noch wenig Information im Stapelspeicher abgelegt werden. Der Speicherbedarf für diese Information ist unabhängig von der Anzahl der in den Teilaufgabenprogrammen verwendeten temporären Stapelspeicher-Variablen und der Schachtelungstiefe der Unterbrechungen und damit insbesondere unabhängig von der Anzahl der Prioritätsebenen des betreffenden Prioritätsbereichs. Der Speicherbedarf für den Stapelspeicher ist somit geringer als beim Verfahren des preemptiven Multitaskings.

Das Verfahren, mehrere Aufgabenprogramme quasi parallel abzuarbeiten und dabei Unterbrechungen von niedrigerpriorären Aufgabenprogrammen durch höherprioräre nur an bestimmten, vom Anwender bei der Erstellung des Programms festgelegten Programmstellen zuzulassen, wird kooperatives Multitasking genannt. Es zeigt sich in der Praxis, daß viele Aufgabenprogramme in einem Gesamtsteuerprogramm im kooperativen Multitasking abgearbeitet werden können mit geringem Aufwand an Speicher- und Rechenzeit, während das aufwendigere preemptive Multitasking auf wenige hochprioräre Aufgabenprogramme beschränkt werden kann.

Das beim preemptiven Multitasking auftretende Problem des möglichen Datenverlustes beim Zugriff auf gemeinsame Speicherbereiche ist entschärft. Eine Unterbrechung eines Zugriffs auf Daten, auf die auch das unterbrechende Aufgabenprogramm zugreift, ist beim kooperativen Multitasking nicht mehr möglich, da der Zugriff innerhalb des nicht unterbrechbaren Teilaufgabenprogramms vollständig abgearbeitet wird, d. h. die Datenzugriffe sind nun automatisch korrekt synchronisiert. Aus gleichem Grund entfällt auch das Problem nicht abschränkbarer Prioritätsumkehr, das sich im preemptiven System ergibt, wenn ein Aufgabenprogramm beim Zugriff auf eine nur unter gegenseitigem Ausschuß zugreifbare Ressource blockiert wird, weil diese bereits von einem unterbrochenen niedrigerpriorären Aufgabenprogramm belegt ist. Die Auswirkungen von Aufgabenprogrammunterbrechungen sind damit transparent und einfach nachvollziehbar. Dies ist insbesondere auch für die Programmierung der Aufgabenprogramme in höheren Programmiersprachen von Vorteil, da es einem Hochsprachenkonstrukt im allgemeinen nicht anzusehen ist, ob es eine ununterbrechbare Operation darstellt oder nicht.

Es ergeben sich weiterhin Vorteile für die Entwicklungsphase eines Steuergeräts. Es kann insbesondere das komplexe Steuerprogramm einfacher simuliert werden. Im Gegensatz zum preemptiven Multitasking kann bei dem erfindungsgemäßen Verfahren weitgehend der zeitliche Ablauf der Programmabarbeitung und insbesondere die Auswirkungen der Unterbrechungen simuliert werden, ohne daß das Verhalten des Rechners selbst simuliert werden muß. Dazu muß für jedes Tei-

laufgabenprogramm neben der Funktion auch noch eine Laufzeit spezifiziert werden.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Hauptanspruch angegebenen Verfahrens möglich. So ist es vorteilhaft, daß die Aufgabenprogramme aus Folgen von Teilaufgabenprogrammen bestehen, die nach Ablaufgesichtspunkten zusammengestellt sind, wobei als Ablaufgesichtspunkte der Anlaß der Anforderung auf Aufgabenprogrammabarbeitung (Aktivierungsereignis), die damit verbundene Dringlichkeit (Priorität) sowie Synchronisationsbedingungen zwischen den Teilaufgabenprogrammen berücksichtigt werden. Die Konfiguration vieler unterschiedlicher Teilaufgabenprogramme nach Ablaufgesichtspunkten in Abarbeitungssequenzen, die wenigen Aufgabenprogrammen mit zugehöriger Priorität und Abarbeitungsanlaß zugeordnet werden, verringert zudem den Laufzeitbedarf für die betriebssysteminterne Ablaufsteuerung, die die Abarbeitung der konkurrierenden Teilaufgabenprogramme zu koordinieren hat. Ein wesentlicher Anteil der Information zur Ablaufsteuerung wird so bereits bei der Programmerstellung zur Verfügung gestellt und muß nicht zur Laufzeit rechenzeitaufwendig ermittelt werden. Die Aufteilung des komplexen Steuergeräteprogramms in Teilaufgabenprogramme erfolgt dagegen nach funktionalen Gesichtspunkten. Dies erhöht die Übersichtlichkeit und vereinfacht die Programmerstellung und Programmverwaltung.

Weiterhin vorteilhaft ist, daß jedes Teilaufgabenprogramm nur so umfangreich gestaltet wird, daß die Zeit für die Abarbeitung des Teilaufgabenprogramms durch den Mikrorechner eine vorbestimmte Grenze nicht überschreitet. Diese Maßnahme bewirkt, daß das Verfahren innerhalb der genannten Zeitgrenze auch für Steuervorgänge einsetzbar ist, bei denen harte Echtzeitbedingungen zu berücksichtigen sind. Der Aufruf eines aktivierten höherprioritären Aufgabenprogramms kann sich dann maximal um die maximale Abarbeitungszeit eines Teilaufgabenprogramms vermehrt um die Abarbeitungszeit eventuell unterbrechender Interruptprogramme verzögern.

Die Maßnahmen gemäß Anspruch 4 erlauben es, zur Laufzeit auf einfache Weise die Abarbeitungsreihenfolge der Teilaufgabenprogramme zu ändern. Hierzu braucht lediglich der Tabellenzeiger mit der Adresse eines Teilaufgabenprogrammzeigers aus einer Teilaufgabenprogrammzeigertabelle geladen werden, wodurch das durch diesen Teilaufgabenprogrammzeiger selektierte Teilaufgabenprogramm beim nächsten Teilaufgabenprogrammwechsel aufgerufen wird. Auch Wechsel zwischen Aufgabenprogrammen werden so einfach realisiert, indem der Tabellenzeiger mit der Adresse des ersten Teilaufgabenprogrammzeigers aus der zugehörigen Teilaufgabenprogrammzeigertabelle des Aufgabenprogramms geladen wird.

Die Einführung einer beschreibenden Datenstruktur für ein Aufgabenprogramm (Aufgabenprogrammdeskriptor) gemäß Anspruch 6 bietet den Vorteil, daß ein Aufgabenprogramm mit der Adresse einer beschreibenden Datenstruktur eindeutig identifiziert werden kann und letztere einen einfachen und schnellen Zugriff auf alle wichtigen Informationen über dieses Aufgabenprogramm und seinen Abarbeitungszustand (status) gestattet.

Ebenfalls vorteilhaft ist, wenn der Status des jeweiligen Aufgabenprogramms nur durch einen der drei Fäl-

le: "Ruhend"; "rechenbereit" und "rechnend" gekennzeichnet werden kann. Insbesondere dadurch, daß es keinen Zustand "blockiert" für ein Aufgabenprogramm gibt, werden vielfältige Probleme von bekannten Betriebssystemen vermieden. Der Zustand "blockiert" wird von einem Aufgabenprogramm dann eingenommen, wenn das Aufgabenprogramm auf die Erfüllung einer bestimmten Bedingung wartet. Als Beispiel hierfür sei das Warten auf bestimmte Rechenergebnisse anderer Aufgabenprogramme genannt. Wenn die Rechenergebnisse noch nicht vorliegen, wird bei den betreffenden Betriebssystemen dem wartenden Aufgabenprogramm der Zustand "blockiert" zugewiesen. Die Abarbeitung dieses Aufgabenprogramms ist dann erstmal gestoppt.

Es muß ein anderes Aufgabenprogramm und zwar eines welches ggf. eine geringere Priorität aufweist, verarbeitet werden. Erst wenn die bestimmte Bedingung erfüllt ist, z. B. die geforderten Rechenergebnisse durch Abarbeitung eines anderen Aufgabenprogramms zur Verfügung gestellt sind, kann das Betriebssystem das Aufgabenprogramm fortführen. Durch diese Vorgänge entsteht jedoch ein hoher Aufwand für die Ablaufsteuerung. Es wird nämlich die eigentliche Abarbeitungsreihenfolge gemäß den Prioritätsstufen verändert. Damit ist es nicht mehr möglich, die bei Aufgabenprogrammunterbrechungen zu sichernden temporären Daten des unterbrochenen Aufgabenprogramms in einen einzelnen Stapelspeicher einzutragen. Das Problem wird bei den bekannten Betriebssystemen z. B. dadurch behoben, daß für jedes Aufgabenprogramm ein eigener Stapelspeicher vorgesehen wird. Dies verursacht jedoch einen hohen zusätzlichen Speicherbedarf, der für Großseriensteuergeräte, insbesondere für Kraftfahrzeugsteuergeräte nicht akzeptabel ist.

Die Verwendung der vorkonfigurierten Teilaufgabenprogrammablaufsequenzen, die im Speicher in Form der Teilaufgabenprogrammzeigertabellen abgelegt werden, gemäß Anspruch 2 und 4 und die Verwaltung der Ablaufsteuerungsinformation in einer Tabelle gemäß Anspruch 8, 9 und 10 haben den Vorteil, daß das Auswerten der Ablaufsteuerungsinformationen auf die Fälle von Aufgabenprogrammaktivierungen und Aufgabenprogrammbeendigungen beschränkt werden kann, also insbesondere nicht nach jeder Teilaufgabenprogrammabarbeitung erneut vorgenommen werden muß.

Für den Fall, daß das angeforderte Aufgabenprogramm oder ein anderes Aufgabenprogramm mit gleicher Priorität bereits abgearbeitet wird, sind weitere vorteilhafte Maßnahmen in Anspruch 11 angegeben. Durch diese Maßnahmen wird sichergestellt, daß für den Fall, daß mehrere gleichprioritäre Aufgabenprogramme angefordert sind, als erstes von diesen immer dasjenige Aufgabenprogramm zur Abarbeitung gelangt, das die längste Wartezeit aufweist.

Die Bereitstellung eines vom Anwender aufrufbaren Betriebssystem-Unterprogramms gemäß Anspruch 12 und 13 gewährt den Vorteil, daß bei der Aufteilung des komplexen Steuergeräteprogramms in Teilaufgabenprogramme ein nach funktionalen Gesichtspunkten eine Einheit bildendes Teilaufgabenprogramm, dessen Abarbeitungszeit die Grenze nach Anspruch 3 überschreitet, nicht als Konzession an die Echtzeitanforderungen in zwei oder mehr Teilaufgabenprogramme aufgespalten werden muß. Durch Einfügen von zusätzlichen Unterbrechungsstellen durch Aufruf des dazu vorgesehenen Betriebssystem-Unterprogramms an geeigneten Stellen lassen sich die Echtzeitanforderungen erfüllen, wobei

die Vorteile des kooperativen Multitasking erhalten bleiben.

Um sehr harte Echtzeitbedingungen einhalten zu können, ist es vorteilhaft, auch Mischformen der Ablaufsteuerung zuzulassen. Das Verfahren nach Anspruch 15 stellt eine solche Mischform dar, mit dem speziellen Vorteil, daß die Reaktionszeiten von höherpriorien preemptiven Aufgabenprogrammen nicht durch die Laufzeiten der Teilaufgabenprogramme niedrigerpriorer Aufgabenprogramme beeinträchtigt werden. Nach diesem Verfahren kann eine kleine Anzahl der höchstprioreren Aufgabenprogramme nach dem aus dem Stand der Technik bekannten Prinzip der Ablaufsteuerung (preemptives Multitasking), verwaltet werden und harte Echtzeitanforderungen (sehr kurze geforderte Reaktionszeiten) erfüllen, während die niedrigerprioreren Aufgabenprogramme nach dem in den Ansprüchen 1 bis 13 beanspruchten Prinzip der Ablaufsteuerung verwaltet werden.

Das Verfahren gemäß Anspruch 15 ist immer dann vorteilhaft anzuwenden, wenn einerseits für bestimmte Aufgabenprogramme sehr hohe hingegen für andere Aufgabenprogramme geringere Echtzeitanforderungen gelten. In diesem Fall können nämlich die Aufgabenprogramme, für die nur geringere Echtzeitanforderungen gelten, zu einer Prioritätsgruppe zusammengefaßt werden, innerhalb derer die Prozessorzuteilung ausschließlich nach dem Prinzip des kooperativen Multitaskings erfolgt. Für die übrigen Aufgabenprogramme mit den harten Echtzeitanforderungen gilt die Beschränkung auf die vorgegebenen Unterbrechungsstellen der niedrigerprioreren Aufgabenprogramme nicht, d. h. sie können jedes niedrigerpriorere Aufgabenprogramm aus beliebigen Gruppen preemptiv unterbrechen. Somit ist eine differenzierte Behandlung der Aufgabenprogramme einer Anwendung hinsichtlich der Ablaufsteuerung entsprechend ihrer unterschiedlichen Echtzeitanforderungen möglich. Damit kann dann auch der Bedarf an Rechnerressourcen durch die optimal angepaßte Kombination beider erwähneter Ablaufsteuerungsverfahren minimiert werden, wobei die vorgegebenen Echtzeitanforderungen immer eingehalten werden. Eine besonders einfache Einteilung der Aufgabenprogramme nach dem erfindungsgemäßen Ablaufsteuerungsverfahren von Anspruch 1 und Anspruch 15 ist in Anspruch 16 angegeben. Diese Einteilung in zwei Prioritätsbereiche kommt einem häufigen Anwendungsfall sehr entgegen, bei dem ein kleiner Teil echtzeitkritischer Aufgabenprogramme (oberer Prioritätsbereich) nach dem preemptiven Ablaufsteuerungsverfahren und ein im allgemeinen größerer Teil der Aufgabenprogrammen mit gemäßigten bis geringen Echtzeitanforderungen (unterer Prioritätsbereich) nach dem kooperativen Ablaufsteuerungsverfahren gemäß Anspruch 1, bei dem nur zwischen abgeschlossenen Teilaufgabenprogrammen unterbrochen werden kann, abgearbeitet werden.

Zeichnung

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

Es zeigen

Fig. 1 ein grobes Blockschaltbild eines Kraftstoffeinspritzungs-Steuergerätes für eine Brennkraftmaschine; Fig. 2 eine schematische Darstellung für einen möglichen Programmablauf in einem Kraftfahrzeugsteuergerät, wobei die Ablaufsteuerung mehrerer Aufgabenpro-

gramme durch ein Betriebssystem, wie es aus dem Stand der Technik bekannt ist, vorgenommen wird; Fig. 3 ein Zustandsdiagramm für Aufgabenprogramme, die von einem Betriebssystem verwaltet werden, wie es aus dem Stand der Technik bekannt ist; Fig. 4 ein Zustandsdiagramm für Aufgabenprogramme, die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren verwaltet werden; Fig. 5 eine schematische Darstellung eines möglichen Programmablaufs bei dem Kraftstoffeinspritzungssystem für eine Brennkraftmaschine, wobei die Ablaufsteuerung entsprechend dem kooperativen Multitasking wie im erfindungsgemäßen Verfahren beschrieben, arbeitet; Fig. 6 und 7 eine schematische Darstellung der Ablaufsteuerung mit Hilfe von Zeigern und Tabellen gemäß des erfindungsgemäßen Verfahrens und Fig. 8 den formalen Aufbau des Statuswortes eines Aufgabenprogramms; Fig. 9a eine schematische Darstellung für die Unterteilung der Prioritätsskala für Aufgabenprogramme eines komplexen Steuerprogramms in Prioritätsgruppen zur Konfigurierung einer erfindungsgemäßen Kombination des preemptiven und des kooperativen Ablaufsteuerungsverfahrens; Fig. 9b eine äquivalente Darstellung der gleichen Unterteilung mit Hilfe von Haupt- und Subprioritäten; Fig. 10 ein zweites Beispiel für die Unterteilung der Prioritätsskala für Aufgabenprogramme eines komplexen Steuerprogramms in Prioritätsgruppen; Fig. 11a ein erstes Beispiel für die Unterbrechung eines Aufgabenprogramms durch ein höherprioreres Aufgabenprogramm; Fig. 11b ein zweites Beispiel für die Unterbrechung eines Aufgabenprogramms durch ein höherprioreres Aufgabenprogramm und Fig. 11c den Fall einer Unterbrechungsanforderung von einem Aufgabenprogramm, das jedoch niedrigere Priorität als das rechnende Aufgabenprogramm aufweist.

Beschreibung der Erfindung

In der Fig. 1 bezeichnet die Bezugszahl 10 ein Kraftstoffeinspritzungs-Steuergerät für eine Brennkraftmaschine. Mit der Bezugszahl 11 ist der Mikrorechner des Kraftstoffeinspritzungs-Steuergerätes bezeichnet. Die Bezugszahl 12 verweist auf den Schreib-/Lese-Speicher (RAM) des Steuergerätes 10. Die Bezugszahl 13 bezeichnet den Festwertspeicher (EPROM) und die Bezugszahl 22 einen nichtflüchtigen Schreib-/Lese-Speicher (EEPROM) des Steuergerätes 10. Mit der Bezugszahl 14 ist eine Ein-/Ausgabeeinheit des Steuergerätes 10 bezeichnet. Die Bezugszahl 23 bezeichnet einen Zeitzähler des Steuergerätes. Der konkrete Aufbau eines derartigen Steuergerätes ist aus dem Stand der Technik hinlänglich bekannt, so daß hierauf im folgenden nicht näher eingegangen wird. An das Steuergerät 10 ist ein Motortemperaturfühler 15, ein Ansauglufttemperaturfühler 16, ein Drosselklappenpotentiometer 17 und eine Sauerstoff-Sonde 18 angeschlossen. Mit der Bezugszahl 19 ist ein Signaleingang bezeichnet, aus dem Drehzahl und Kurbelwellenwinkel berechnet werden können. Dieses Signal wird von einem Zündungssteuergerät an das Einspritzungssteuergerät geliefert. Der weitere Eingang 20 ist mit dem Zündschloß gekoppelt. Weiterhin steht das Steuergerät 10 mit einem elektromagnetischen Einspritzventil 21 in Verbindung.

Die Funktion des Kraftstoffeinspritz-Steuergerätes ist wie folgt: Das Kraftstoffeinspritz-Steuergerät verarbeitet die anliegenden Eingabesignale und berechnet hieraus die Einspritzzeit als Maß für die einzuspritzende Kraftstoffmenge. In Abhängigkeit von Drehzahl und Kurbelwellenwinkel löst das Steuergerät 10 die Ein-

spritzimpulse mit den im voraus berechneten Einspritzzeiten aus. Die genaue Funktionsweise des Einspritzungssteuergerätes ist dem Buch Autoelektrik/Autoelektronik am Ottomotor, VDI-Verlag, 1987, S. 258 bis 261 entnehmbar. Es wird nachfolgend auch noch genauer auf diese Funktionsweise eingegangen.

Zur Realisierung eines derartigen Kraftstoffeinspritz-Steuergerätes ist ein komplexes Steuerprogramm erforderlich. Üblicherweise ist das komplexe Steuerprogramm in eine Reihe von verschiedenen Aufgabenprogrammen eingeteilt. Dabei hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die Einteilung in Aufgabenprogramme nach Ablaufgesichtspunkten vorzunehmen. Es gibt nämlich Programmteile, die innerhalb eines festen Zeitrasters abgearbeitet sein müssen, wobei häufig mehrere unterschiedliche Zeitraster verwendet werden. Weiterhin gibt es Programmteile, die nur innerhalb eines bestimmten Betriebszustandes oder als Reaktion auf ein externes oder internes Ereignis, wie z. B. der Programmstart, das Programmende, der Vollastbetrieb, der Leerlaufbetrieb, der Warmlaufbetrieb, etc. abgearbeitet werden sollen. Weiterhin sind bestimmte Programmteile innerhalb eines festen Winkelrasters in Abhängigkeit des Kurbelwellenwinkels abzuarbeiten. Üblicherweise werden sämtliche Programmteile, die innerhalb des gleichen Zeit-/Winkelrasters abzuarbeiten sind, zu einem Aufgabenprogramm zusammengefaßt. Für jedes Aufgabenprogramm ist dann zusätzlich ein Aktivierungsereignis charakteristisch, das den Aufruf des Aufgabenprogramms veranlaßt. Z.B. kann den Aufruf eines Aufgabenprogramms innerhalb eines festen Zeitrasters der Zeitzähler 23 bewirken, der in der Interrupt-Service-Routine eines periodisch von der Hardware z. B. jede Millisekunde generierten Interrupts inkrementiert wird. In dieser Interrupt-Service-Routine wird überprüft, ob bei dem aktuellen Zählerstand des Zeitzählers ein neues Aufgabenprogramm zu aktivieren ist oder nicht. Zur Koordinierung der Aufgabenprogrammaufrufe hat es sich als vorteilhaft erwiesen, den einzelnen Aufgabenprogrammen eine bestimmte Priorität zuzuordnen, die die Dringlichkeit der Abarbeitung des Aufgabenprogramms angibt. Für die Verwaltung der Abarbeitung der einzelnen Aufgabenprogramme wird häufig ein Betriebssystem eingesetzt. Dieses entscheidet dann anhand eines entsprechenden Programms welches Aufgabenprogramm zu einem gegebenen Zeitpunkt von dem Mikrorechner abgearbeitet werden soll.

Ein Ausschnitt aus einem möglichen Programmablauf ist in Fig. 2 dargestellt. Dort sind als Beispiel vier verschiedene Aufgabenprogramme E, F, G, H aufgeführt. Das Aufgabenprogramm E besitzt die niedrigste Priorität 0 und soll unabhängig von einem festen Zeitraster immer dann abgearbeitet werden, wenn kein dringenderes Aufgabenprogramm zur Abarbeitung bereitsteht. Das Aufgabenprogramm F soll alle 100 ms abgearbeitet werden. Ihm ist die Priorität 1 zugeordnet. Das Aufgabenprogramm G soll innerhalb eines festen Winkelrasters von 180 Grad Kurbelwellenwinkel abgearbeitet werden. Ihm kommt die Priorität 2 zu. Das Aufgabenprogramm H soll schließlich in einem festen Zeitraster von alle 10 ms abgearbeitet werden. Ihm kommt die höchste Priorität 3 zu. Bei dem in Fig. 2 dargestellten Programmablauf wird ein Betriebssystem zur Ablaufsteuerung verwendet, bei dem die einzelnen Aufgabenprogramme aufgrund der Anforderung der Abarbeitung eines höherprioritären Aufgabenprogramms zu jedem beliebigen Zeitpunkt unterbrochen werden können. Eine derartige Ablaufsteuerung entspricht dem des pre-

emptiven Multitasking. Zum Zeitpunkt t_1 wird z. B. das Aufgabenprogramm E unterbrochen und die Abarbeitung des Aufgabenprogramms H gestartet. Zum Zeitpunkt t_2 ist die Abarbeitung des Aufgabenprogramms H beendet. Es wird anschließend die Abarbeitung des Aufgabenprogramms E an der Unterbrechungsstelle fortgesetzt. Die weiteren Unterbrechungsstellen der einzelnen Aufgabenprogramme können der Fig. 2 entnommen werden. Sämtliche Aufgabenprogramme sind noch durch Interrupt-Serviceroutinen von aufgetretenen Interrupt-Anforderungen unterbrechbar. Dies ist jedoch in der Fig. 2 zwecks besserer Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Die einzelnen Aufgabenprogramme können verschiedene Zustände annehmen. In Fig. 3 sind die möglichen Zustände dargestellt, die häufig für Betriebssysteme, die preemptives Multitasking verwenden, gelten. Es sind vier mögliche Zustände dargestellt. Im Zustand 51 "ruhend" befindet sich ein Aufgabenprogramm, das den Prozessor nicht belegt und auch aktuell Nichts zu rechnen hat. Ein Aufgabenprogramm im Zustand 51 "rechenbereit" hat etwas zu berechnen, ist jedoch nicht im Besitz des Prozessors, da dieser durch ein anderes gleich- oder höherprioritäres Aufgabenprogramm belegt ist. Aus dem Zustand 50 "ruhend" gelangt ein Aufgabenprogramm durch "Aufgabenprogramm aktivieren" 54 in den Zustand 51 "rechenbereit". Ein rechenbereites Aufgabenprogramm kann durch "Aufgabenprogramm stoppen" 55 wieder in den ruhenden Zustand 50 zurückversetzt werden. Aus dem rechenbereiten Zustand 51 gelangt ein Aufgabenprogramm durch "Prozessor zuteilen" 56 in den Zustand 52 "rechnend", in dem das Aufgabenprogramm den Prozessor belegt. Ein rechnendes Aufgabenprogramm kann durch ein höherprioritäres Aufgabenprogramm in den Zustand 51 "rechenbereit" verdrängt werden 57, oder es kann durch "Aufgabenprogramm terminieren" 58 beendet werden und gelangt damit wieder in den ruhenden Zustand 50.

Gemäß Fig. 3 ist in dem Zustandsdiagramm für die Aufgabenprogramme noch ein Zustand 53 "blockiert" vorgesehen. In diesen Zustand gerät ein Aufgabenprogramm dann, wenn es zu seiner Fortführung erst das Eintreffen einer bestimmten Bedingung abwarten muß. Dieser Fall tritt z. B. dann auf, wenn das Aufgabenprogramm zu seiner Fortführung auf bestimmte Rechenergebnisse zugreift, die jedoch von einem anderen Aufgabenprogramm bereitgestellt werden. Wenn die Daten zum Zugriffszeitpunkt noch nicht vorliegen, so gerät das Aufgabenprogramm in den Zustand 53 "blockiert". Es muß dann erst das Aufgabenprogramm abgearbeitet sein, das die Daten berechnet, bevor das blockierte Aufgabenprogramm fortgeführt werden kann. Liegen die Rechenergebnisse vor, so verläßt das Aufgabenprogramm den Zustand 53 "blockiert" und geht in den Zustand 51 "rechenbereit" über. Der Übergang von dem Zustand 53 "blockiert" in den Zustand 51 "rechenbereit" ist daher durch die Beschriftung "Bedingung erfüllt" 60 gekennzeichnet. Der Übergang von dem Zustand 52 "rechnend" in den Zustand 53 "blockiert" ist als "Warten auf Bedingung" 59 bezeichnet.

Ein anderes Beispiel für eine Bedingung, die ein Aufgabenprogramm bei Nichterfüllung in einen blockierten Zustand versetzen kann, ist bei der Speicherzuteilung gegeben. Wenn z. B. ein Aufgabenprogramm für die Ausführung einer komplexen Berechnung einen zusätzlichen Speicherbereich benötigt, der jedoch gerade nicht zur Verfügung steht, so ist ebenfalls eine Bedingung nicht erfüllt, die das Aufgabenprogramm in seiner

weiteren Fortführung blockiert. Erst wenn von einem anderen Aufgabenprogramm wieder Speicher freigegeben wird, kann dieser dem blockierten Aufgabenprogramm zugeteilt werden, das daraufhin in seiner Abarbeitung fortgesetzt wird.

In Fig. 4 sind die möglichen Zustände von Aufgabenprogrammen dargestellt, die bei der Steuerung von Vorgängen nach dem erfindungsgemäßen Verfahren auftreten können. Es sind ebenfalls die drei Zustände 50, 51, 52 "ruhend", "rechenbereit" und "rechnend" für die Aufgabenprogramme erlaubt. Nicht erlaubt ist jedoch der Zustand "blockiert". Dieser Zustand soll bewußt vermieden werden, weil er einen hohen Verwaltungsaufwand erfordert und einen hohen Schreib-/Lese-Speicherbedarf verursacht. Dieser Aufwand ist jedoch bei Großseriensteuergeräten, wie sie z. B. bei der Steuerung von Vorgängen in Kraftfahrzeugen eingesetzt werden, nicht akzeptabel. Außerdem sind alle möglichen Blockierungszustände in einem komplexen SG-Programm, dessen BS mit Aufgabenprogrammblockierungen arbeitet, nur schwer zu ermitteln und nur schwer in ihren Konsequenzen zu übersehen. Wechselseitige Abhängigkeiten können so z. B. leicht zu "Verklemmungen" führen, d. h. zu Ablauffehlern. Die eingezeichneten Übergangspfeile in Fig. 4 entsprechen denjenigen in Fig. 3 und werden deshalb nicht nochmal erläutert.

In Fig. 5 ist jetzt ein möglicher Programmablauf für die Kraftstoffeinspritzungssteuerung bei der Brennkraftmaschine dargestellt. Aus der Darstellung wird die beispielhafte Aufteilung des komplexen Steuerprogramms in vier verschiedene Aufgabenprogramme deutlich. Das Aufgabenprogramm A enthält alle Anweisungen des komplexen Steuerprogramms, die zeitgesteuert mit einer Periode von 200 ms abgearbeitet werden sollen. Dem Aufgabenprogramm A ist die Priorität 1 zugeordnet. Das Aufgabenprogramm A ist erfindungsgemäß in drei Teilaufgabenprogramme A1, A2, A3 eingeteilt. Im Teilaufgabenprogramm A1 wird die Motortemperatur erfaßt. Dabei wird das Signal des Motortemperaturfühlers 15 ausgewertet und in eine Motortemperatur umgerechnet. In dem Teilaufgabenprogramm A2 wird ein Gemischanreicherungs faktor in Abhängigkeit von der Motortemperatur errechnet. Dieser Gemischanreicherungs faktor wird nach einem Kaltstart der Brennkraftmaschine für die Warmlaufphase der Brennkraftmaschine benötigt. Im Teilaufgabenprogramm A3 wird die Ansauglufttemperatur erfaßt. Hierzu wird das Signal des Ansauglufttemperaturfühlers 16 ausgewertet. Da sich die Motortemperatur sowie auch die Ansauglufttemperatur nur langsam verändern, reicht es aus, diese Größen nur alle 200 ms neu zu erfassen. Aus diesem Grund sind die Teilaufgabenprogramme A1, A2 und A3 dem Aufgabenprogramm A zugeordnet, das nur in Zeitabständen von 200 ms abgearbeitet werden soll.

Das Aufgabenprogramm B soll demgegenüber wesentlich häufiger abgearbeitet werden. Es soll zeitgesteuert alle 10 ms aufgerufen werden. Ihm ist die Priorität 3 zugeordnet. Es ist in die drei Teilaufgabenprogramme B1, B2 und B3 eingeteilt. In dem Teilaufgabenprogramm B1 wird die Lambda-Regelung durchgeführt. Dabei wird die vom Steuergerät in anderen Teilaufgabenprogrammen vorausberechnete Einspritzzeit ggf. so korrigiert, daß das Luft-Kraftstoff-Verhältnis nur minimal vom idealen Wert ($\lambda = 1$) abweicht. In dem Teilaufgabenprogramm B2 werden adaptive Gemischkorrekturen berechnet. Ein Adaptionalgorithmus, basierend auf der Signalauswertung der Sauerstoff-Sonde 18 er-

rechnet Korrekturwerte für die aus einem Grundkennfeld ermittelten Werte für den Kraftstoffbedarf bei einem bestimmten Betriebspunkt der Brennkraftmaschine und trägt diese Werte in ein Korrekturkennfeld ein.

5 Damit können Alterungserscheinungen sowie Fertigungstoleranzen der Brennkraftmaschine und der Einspritzaggregate individuell kompensiert werden.

Im Teilaufgabenprogramm B3 wird die Motordrehzahl berechnet. Dabei wird das Drehzahlsignal, das am Eingang 19 ansteht, ausgewertet.

10 Das Aufgabenprogramm C wird kurbelwellenwinkelgerecht alle 180 Grad Kurbelwellenwinkel in Bezug auf einen Bezugspunkt der Kurbelwelle abgearbeitet. Dies gilt für eine Vierzylinder-Brennkraftmaschine. Dem Aufgabenprogramm C ist die Priorität 2 zugeordnet. In dem Teilaufgabenprogramm C1 wird die Motorlast berechnet. Diese ergibt sich aus der aktuellen Motordrehzahl und der Stellung der Drosselklappe, die mit Hilfe des Drosselklappenpotentiometers 17 erfaßt wird, sowie der aktuellen Ansauglufttemperatur.

20 In dem Teilaufgabenprogramm C2 wird der Kraftstoffbedarf für den aktuellen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine errechnet. Der Kraftstoffgrundbedarf wird aus einem Grundkennfeld, das durch die Motorparameter Motordrehzahl und Motorlast aufgespannt wird, entnommen.

25 In dem Teilaufgabenprogramm C3 werden die ermittelten Anreicherungs- bzw. Abmagerungsfaktoren aufgrund besonderer Betriebsphasen sowie die bei der Lambda-Regelung errechneten Korrekturgrößen in den Grundkraftstoffbedarf eingerechnet. Anschließend erfolgt noch eine Umwandlung des Kraftstoffbedarfs in eine Einspritzzeit für das elektromagnetische Einspritzventil. Das Auslösen der Einspritzimpulse geschieht dann letztlich mit Unterstützung einer besonderen Schaltung, die einen Zähler enthält, der entsprechend der ausgerechneten Einspritzzeit eingestellt ist. Hierfür ist kein gesondertes Teilaufgabenprogramm mehr erforderlich.

30 Das Aufgabenprogramm D wird ereignisgesteuert lediglich beim Abschalten der Zündung aktiviert. Ihm ist die höchste Priorität 5 zugeordnet. Es ist in die Teilaufgabenprogramme D1, D2 und D3 eingeteilt. In dem Teilaufgabenprogramm D1 wird das Einspritzventil und die Kraftstoffpumpe abgeschaltet. In dem Teilaufgabenprogramm D2 werden die in das Korrekturkennfeld eingetragenen Korrekturwerte in den nicht flüchtigen Speicher 22 programmiert.

35 In dem Teilaufgabenprogramm D3 findet die Abschaltung des Steuergerätes 10 statt.

40 Alle dargestellten Aufgabenprogramme und Teilaufgabenprogramme sind durch Interrupt-Programme unterbrechbar, sofern keine besonderen Sperrungen für Interrupt-Anforderungen programmiert wurden. Die Zeitsteuerung der Aufgabenprogramme A und B geschieht dann auch mit Hilfe von Interrupt-Anforderungen. Hierzu wird der Zeitzähler 23 in dem Steuergerät 10 benutzt, der in der Interrupt-Service-Routine eines periodisch von der Hardware z. B. jede Millisekunde generierten Interrupts inkrementiert wird. In dieser Interrupt-Serviceroutine wird eine Liste mit den Aktivierungszeitpunkten für die Aufgabenprogramme A und B durchsucht. Stimmt ein Eintrag in dieser Liste mit dem aktuellen Zählerstand des Zeitzählers 23 überein, so wird das entsprechende Aufgabenprogramm aktiviert. Hierauf wird jedoch im folgenden noch genauer eingegangen. Die Liste mit den Einträgen der Aktivierungszeitpunkte für die Programme A und B ist als verkettete

Liste ausgeführt. Dadurch braucht im Regelfall nur das erste Element der verketteten Liste mit dem aktuellen Zählerstand verglichen zu werden. Nur für den Fall, daß das erste Listenelement mit dem aktuellen Zählerstand übereinstimmt, müssen auch die nachfolgenden Listenelemente mit dem Listenzählerstand verglichen werden, so lange, bis keine Übereinstimmung mehr vorhanden ist.

Für die Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens sind bestimmte Maßnahmen erforderlich, die jetzt anhand der Fig. 5 bis 7 erläutert werden sollen. Die Einteilung der einzelnen Aufgabenprogramme A, B, C, D in eine Anzahl von Teilaufgabenprogrammen wird von dem Software-Entwickler vorgenommen. Der zugehörige Programmcode wird nach Fertigstellung des Programms in den Festwertspeicher 13 des Steuergerätes eingetragen. Im Festwertspeicher des Steuergerätes 10 sind daher die einzelnen Teilaufgabenprogramme A1 bis D3 einzeln abgelegt. Dies ist in Fig. 6 angedeutet. Die Darstellung ist insofern vereinfacht, als daß die Teilaufgabenprogramme A1 bis D3 alle gleich groß dargestellt sind; sie können aber auch unterschiedliche Größen aufweisen. Für jedes Aufgabenprogramm ist eine Teilaufgabenprogrammzeigertabelle 31 bis 34 vorgesehen. Auch diese Tabellen sind in dem Festwertspeicher 13 fest eingespeichert. In jeder Teilaufgabenprogrammzeigertabelle ist für jedes Teilaufgabenprogramm des jeweiligen Aufgabenprogramms ein Zeiger eingetragen, der auf den Beginn des Programmcodes des jeweiligen Teilaufgabenprogramms zeigt. Als Beispiel wird die Tabelle 33 für das Aufgabenprogramm C genannt. In dieser Tabelle ist ein Teilaufgabenprogrammzeiger ZC1 vorgesehen, der auf den Beginn des Programmcodes für das Teilaufgabenprogramm C1 zeigt. Weiterhin ist ein Teilaufgabenprogrammzeiger ZC2 vorgesehen, der auf den Beginn des Teilaufgabenprogramms C2 zeigt. Schließlich ist noch ein Teilaufgabenprogrammzeiger ZC3 vorgesehen, der auf den Beginn des Teilaufgabenprogramms C3 zeigt.

Am Ende jeder Teilaufgabenprogrammzeigertabelle 31 bis 34 ist noch ein Zeiger ZAE auf ein Teilaufgabenprogramm AE vorgesehen, das für die Ablaufsteuerung wichtig ist. Seine Funktion wird später noch genauer erläutert.

Weiterhin sind in dem Festwertspeicher 13 beschreibende Datenstrukturen 35 bis 38 (Aufgabenprogramm-Deskriptoren) vorgesehen. Darin ist für jedes Aufgabenprogramm eine Information über die Priorität P1 bis PS des jeweiligen Aufgabenprogramms, ein Zeiger ZZA1 bis ZZD1 auf den ersten Teilaufgabenprogrammzeiger ZA1 bis ZD1 der zugehörigen Teilaufgabenprogrammzeigertabelle 31 bis 34 und ein Zeiger ZSWA bis ZSWD auf ein Statuswort des zugehörigen Aufgabenprogramms vorgesehen. Die einzelnen Statusworte SWA bis SWD der Aufgabenprogramme sind im Schreib-/Lesespeicher 12 des Steuergerätes 10 abgespeichert, weil sie während des Programmablaufs veränderliche Programmeinträge erfahren. Als Beispiel für die Einträge in einem Aufgabenprogramm-Deskriptor 35 bis 38 wird wieder das Aufgabenprogramm C betrachtet. Der Zeiger ZZC1 zeigt auf den ersten Eintrag in der Tabelle 33, d. h. auf den Teilaufgabenprogrammzeiger ZC1. Der Zeiger ZSWC zeigt auf das Statuswort des Aufgabenprogramms SWC. Weiterhin ist in dem Aufgabenprogramm-Deskriptor 37 für das Aufgabenprogramm C eingetragen, daß dem Aufga-

benprogramm C die Prioritätsstufe 4 zukommt. Die Einträge in die Aufgabenprogramm-Deskriptoren 35, 36 und 38 können der Fig. 6 ohne Erklärung entnommen werden.

Weiterhin ist in dem Schreib-/Lesespeicher 12 eine Ablaufsteuerungstabelle 40 vorgesehen. In sie wird nach Prioritätsstufen geordnet für jedes aktivierte, d. h. im Zustand "rechenbereit" oder "rechnend" befindliche Aufgabenprogramm ein Zeiger ZDA bis ZDD eingetragen, der auf den Anfang des zugehörigen Aufgabenprogramm-Deskriptors zeigt und weiterhin ein Zeiger, der auf den Zeiger ZA1 bis ZD3 desjenigen Teilaufgabenprogramms A1 bis D3 zeigt, mit dem ein rechenbereites Aufgabenprogramm nach einer Unterbrechung zwischen Teilaufgabenprogrammen fortgesetzt werden soll. Wenn also ein Aufgabenprogramm unterbrochen wurde, ist in die Ablaufsteuerungstabelle 40 ein Zeiger eingetragen, der auf denjenigen Teilaufgabenprogrammzeiger zeigt, der das nächste Teilaufgabenprogramm nach der Unterbrechung bezeichnet. Wurde ein Aufgabenprogramm aus dem Zustand "ruhend" in den Zustand "rechenbereit" überführt, so enthält die Ablaufsteuerungstabelle 40 für dieses Aufgabenprogramm einen Zeiger, der auf den ersten Teilaufgabenprogrammzeiger ZA1 bis ZD1 der entsprechenden Teilaufgabenprogrammzeigertabelle 31 bis 34 zeigt. Die Ablaufsteuerungstabelle wird in der Programminitialisierung mit Nullzeigern initialisiert.

Schließlich ist im Schreib-/Lesespeicher 12 des Steuergerätes 10 noch ein Tabellenzeiger 39 vorgesehen. Dieser Tabellenzeiger 39 wird immer so gesetzt, daß er auf den Teilaufgabenprogrammzeiger des nächsten abzuarbeitenden Teilaufgabenprogramms zeigt. In dem dargestellten Beispiel zeigt der Tabellenzeiger 39 auf den Teilaufgabenprogrammzeiger ZB3. Das Teilaufgabenprogramm B3 wird also als nächstes abgearbeitet werden. Der Tabellenzeiger 39 wird nach jeder Abarbeitung eines Teilaufgabenprogramms inkrementiert. In einem "Dispatcher" genannten Programmteil, der nach jeder abgeschlossenen Abarbeitung eines Teilaufgabenprogramms durchlaufen wird, wird als nächstes abzuarbeitendes Teilaufgabenprogramm dasjenige ausgewählt, auf das der Tabellenzeiger vor der Inkrementierung zeigte. Diese Vorgehensweise wird nachfolgend anhand des Programmablaufs in Fig. 5 nochmals näher erläutert.

Zum Zeitpunkt t_1 beginnt der Mikrorechner 11 die Abarbeitung des Teilaufgabenprogramms A₁. Zu diesem Zeitpunkt ist in dem Tabellenzeiger 39 ein Eintrag ZZA2 vorhanden. Das nächste abzuarbeitende Teilaufgabenprogramm ist damit das Teilaufgabenprogramm A2. Zum Zeitpunkt t_2 wird das Teilaufgabenprogramm A1 beendet. Im daran anschließenden Dispatcherdurchlauf wird der Tabellenzeiger 39 inkrementiert, so daß er den Eintrag ZZA3 erhält und zum Zeitpunkt t_3 wird das Teilaufgabenprogramm aufgerufen, das der Tabellenzeiger 39 vor seiner Inkrementierung durch Zeigerverkettung (ZZA2 → ZA2 → A2) auswählte. Dies ist das Teilaufgabenprogramm A2. Zum Zeitpunkt t_4 stellt die Interrupt-Serviceroutine des Zeitzählers 23 fest, daß zu diesem Zeitpunkt das Aufgabenprogramm B aktiviert werden soll. Zu diesem Zweck ruft sie den für Aufgabenprogrammaktivierungen zuständigen Betriebssystem-Dienst auf, der den Zeiger ZDB auf den Aufgabenprogrammdeskriptor 36 und den Zeiger ZDB1 auf den Teilaufgabenprogrammzeiger ZB1 in die Ablaufsteuerungstabelle 40 auf Prioritätsstufe 3 einträgt. Da das Aufgabenprogramm B nun das höchstprioritäre bereite Aufga-

benprogramm im System ist, wird ein Wechsel zu diesem Aufgabenprogramm zum Ende des laufenden Teilaufgabenprogramms A2 vorbereitet, indem der Tabellenzeiger 39 mit dem Wert ZZB1 geladen wird. Da das Aufgabenprogramm A während seiner Abarbeitung unterbrochen wird, wird auf der Prioritätsstufe 1 der Zeiger ZZA3 eingetragen, damit das Aufgabenprogramm A später mit dem Teilaufgabenprogramm A3 fortgesetzt werden kann. Einträge für die übrigen Prioritätsstufen bleiben unverändert, d. h. dort sind Nullzeiger eingetragen. Die Einträge in die Ablaufssteuerungstabelle 40 sind in der Fig. 7 dargestellt.

Erfindungsgemäß wird das Teilaufgabenprogramm A2 danach erst noch vollständig abgearbeitet. Zum Zeitpunkt t_5 ist die Abarbeitung des Teilaufgabenprogramms A2 beendet. Es wird dann nachfolgend wieder der Dispatcher durchlaufen, der den Tabellenzeiger 39 inkrementiert. Nach der Inkrementierung zeigt der Tabellenzeiger 39 also auf den Wert ZZB2. Das Aufgabenprogramm A wechselt damit vom Status "rechnend" in den Status "rechenbereit" über. Sodann wird mit der Abarbeitung des Teilaufgabenprogramms B1 zum Zeitpunkt t_6 begonnen.

Zum Zeitpunkt t_7 ergeht eine Interruptanforderung an den Mikrorechner 11 aufgrund des anliegenden Drehzahlsignals. Dieses Interruptsignal gibt an, daß das Winkelintervall von 180° Kurbelwellenwinkel beendet ist. In der zugehörigen Interrupt-Serviceroutine wird der Betriebssystem-Dienst aufgerufen, der das Aufgabenprogramm C aktiviert und die Ablaufssteuerungstabelle 40 entsprechend aktualisiert. Es wird für die Prioritätsstufe 4 der Zeiger ZDC auf den Beginn des Aufgabenprogramm-Deskriptors 37 und der Zeiger ZCC1 auf den Teilaufgabenprogrammzeiger ZC1 des Aufgabenprogramms C eingetragen. Das Aufgabenprogramm C ist damit aktiviert. Da das Aufgabenprogramm B nach der Abarbeitung des Teilaufgabenprogramms B2 unterbrochen wird, wird bei Prioritätsstufe 3 der Zeiger ZZB3 eingetragen. Die beschriebenen Einträge können Fig. 7 entnommen werden. Schließlich wird der Tabellenzeiger 39 auf den Wert ZCC1 entsprechend des höchsten Eintrages in der Ablaufssteuerungstabelle 40 gesetzt. Nach der Beendigung der Abarbeitung des Teilaufgabenprogramms B2 wird dementsprechend das Teilaufgabenprogramm C als nächstes abgearbeitet. Der Wechsel zwischen diesen Teilaufgabenprogrammen findet in gleicher Weise statt, wie bei dem Wechsel zwischen den Teilaufgabenprogrammen A2 und B2 beschrieben. Zum Zeitpunkt t_8 findet die Abarbeitung des Teilaufgabenprogramms C1 statt. Das Aufgabenprogramm C wird vollständig zu Ende geführt, ohne daß in der Zwischenzeit die Abarbeitung eines anderen Aufgabenprogramms angefordert wird.

Nach der Beendigung des Aufgabenprogramms C zum Zeitpunkt t_8 wird wieder der Dispatcher durchlaufen, der den Tabellenzeiger 39 inkrementiert und das nachfolgend abzuarbeitende Teilaufgabenprogramm aufruft, das durch den Wert des Tabellenzeigers 39 vor seiner Inkrementierung selektiert wird. Es ist das Teilaufgabenprogramm AE, das jeweils zur Beendigung eines Aufgabenprogramms aufgerufen wird. Darin wird die Ablaufssteuerungstabelle 40 aktualisiert. Da das Aufgabenprogramm C beendet ist, werden in die Ablaufssteuerungstabelle 40 unter der Prioritätsstufe 4 Nullzeiger eingetragen. Anschließend wird aus der Ablaufssteuerungstabelle 40 der Zeiger ZZB3 entnommen und in den Tabellenzeiger 39 eingetragen. Das Aufgabenprogramm B weist nämlich zu diesem Zeitpunkt die

höchste Priorität von allen im Zustand "rechenbereit" befindlichen Aufgabenprogrammen auf. Zum Zeitpunkt t_{10} wird anschließend das Teilaufgabenprogramm B3 abgearbeitet. Nach dessen Abarbeitung wird wieder das Teilaufgabenprogramm AE aufgerufen. Darin werden unter der Prioritätsstufe 3 Nullzeiger in die Ablaufssteuerungstabelle 40 eingetragen. In den Tabellenzeiger 39 wird der Zeiger ZZA3 auf den Teilaufgabenprogrammzeiger ZA3 eingetragen.

Zum Zeitpunkt t_{11} wird dem Mikrorechner 11 des Steuergerätes durch Drehen des Zündschlüssels in die Stellung "aus" über den Eingang 20 signalisiert, daß die Zündung abgeschaltet und das Steuerprogramm beendet werden soll. In der zugehörigen Interrupt-Serviceroutine wird dann wieder der für Aufgabenprogrammaktivierungen zuständige Betriebssystem-Dienst aufgerufen, der in die Ablaufssteuerungstabelle 40 für die Prioritätsstufe 5 den Zeiger ZDD auf den Beginn des Aufgabenprogramm-Deskriptors 38 und den Zeiger ZDD1 auf den ersten Teilaufgabenprogrammzeiger ZD1 einträgt. Dies geschieht analog wie oben für die Aktivierungen der Aufgabenprogramme B und C beschrieben. Durch Laden des Tabellenzeigers 39 mit der Adresse ZDD1 des Teilaufgabenprogrammzeigers ZD1 wird der Wechsel zum nun höchstprioritären, bereiten Aufgabenprogramm D vorbereitet. Der Wechsel findet nach Beendigung des noch in Abarbeitung befindlichen Teilaufgabenprogramms A3 statt.

Anschließend werden die Aufgabenprogramme D1, D2 und D3 nacheinander abgearbeitet, wie schon zuvor beschrieben. Ein Aufgabenprogrammwechsel findet nicht mehr statt. Auch wird die Ablaufssteuerungstabelle 40 nicht mehr aktualisiert. Zum Zeitpunkt t_{12} ist der Programmablauf vollständig beendet; das Kraftstoffeinspritzungssteuergerät ist abgeschaltet.

In Fig. 8 ist noch der allgemeine Aufbau eines Statuswortes für ein Aufgabenprogramm dargestellt. Wenn in der Speicherstelle 45 eine 1 eingetragen ist, so bedeutet dies, daß sich das zugehörige Aufgabenprogramm in dem Zustand "ruhend" befindet. Wenn in der Speicherstelle 46 eine "1" eingetragen ist, so bedeutet dies, daß das zugehörige Aufgabenprogramm sich im Zustand "rechenbereit" befindet. Wenn in der Speicherstelle 47 eine "1" eingetragen ist, so bedeutet dies, daß das zugehörige Aufgabenprogramm sich in dem Zustand "rechnend" befindet. Wenn in der Speicherstelle 48 eine "1" eingetragen ist, so bedeutet dies, daß das zugehörige Aufgabenprogramm unterbrochen wurde. Die Speicherstellen 49 sind für einen Wartelistenindexeintrag vorgesehen. Wenn nämlich die Abarbeitung eines Aufgabenprogramms neu angefordert wird, so kann es vorkommen, daß in dem für die Aktivierung zuständigen Betriebssystem-Dienst festgestellt wird, daß bereits ein Aufgabenprogramm aktiviert ist — der entsprechende Eintrag in der Ablaufssteuerungstabelle ist ungleich Null —, das die gleiche Priorität aufweist. In diesem Fall wird das neu aktivierte Aufgabenprogramm in eine Warteschlange eingereiht und in seinem Statuswort eine Information eingetragen, die angibt, welche Position dieses Aufgabenprogramm innerhalb der Warteschlange, die für diese Prioritätsstufe gilt, einnimmt. Es wird dann bei einer späteren Suche nach dem Aufgabenprogramm mit der höchsten Priorität für den Fall, daß mehrere Programme mit gleicher Priorität aktiviert sind, auch die Position des jeweiligen Aufgabenprogrammes innerhalb der Warteschlange berücksichtigt. Es wird in diesen Fällen immer das Aufgabenprogramm als nächstes aufgerufen, das die längste Wartezeit aufweist. Ent-

sprechend muß dann auch die Ablaufsteuerungstabelle 40 vergrößert sein, so daß für jede Prioritätsstufe Zeiger auf Beginn und Ende einer nach Wartezeit geordneten Warteschlange für Aufgabenprogramme eingetragen werden können. Nullzeiger zeigen an, daß es gerade keine wartenden Aufgabenprogramme auf dieser Prioritätsstufe gibt.

Im folgenden wird noch auf ein Ausführungsbeispiel eingegangen, bei dem nicht alle Aufgabenprogramme nach dem erfindungsgemäßen Ablaufsteuerungsprinzip nach Anspruch 1 (Unterbrechung nur zwischen abgeschlossenen Teilaufgabenprogrammen) abgearbeitet werden. Bei diesem Ausführungsbeispiel für das kombinierte Ablaufsteuerungsverfahren nach Anspruch 15 ist es erlaubt, daß einige Aufgabenprogramme andere Aufgabenprogramme mit niedrigerer Priorität an jeder beliebigen Stelle unterbrechen dürfen, d. h. nach dem als preemptives Scheduling bezeichneten Ablaufsteuerungsprinzip verwaltet werden. Bei dem erfindungsgemäßen kombinierten Ablaufsteuerungsverfahren gibt es also Aufgabenprogramme, die andere niedrigerprioritäre Aufgabenprogramme an jeder beliebigen Stelle unterbrechen dürfen und weiterhin Aufgabenprogramme, die andere niedrigerprioritäre Aufgabenprogramme nur zwischen abgeschlossenen Teilaufgabenprogrammen unterbrechen dürfen. In Fig. 9a ist der Sachverhalt dargestellt. Dort sind auf einer Prioritätsskala die Aufgabenprogramme mit ihrer jeweiligen Priorität durch einen Strich dargestellt. Dabei sind die Aufgabenprogramme in Prioritätsgruppen G1—G5 eingeteilt. Die Prioritätsgruppe G1 besteht nur aus Aufgabenprogrammen, die alle die gleiche Prioritätsstufe 1 haben. Die Prioritätsgruppe G2 besteht aus den Aufgabenprogrammen, denen eine der Prioritätsstufen 2—6 zukommt. Die Prioritätsgruppe G3 besteht aus den Aufgabenprogrammen, denen die Prioritätsstufe 7 zukommt. Die Prioritätsgruppe G4 besteht aus den Aufgabenprogrammen, denen die Prioritätsstufe 8 zukommt. Die Prioritätsgruppe G5 betrifft alle Aufgabenprogramme, denen eine der Prioritätsstufen 9—11 zukommt. Für die Ablaufsteuerung bei dieser Einteilung der Aufgabenprogramme gilt dann das folgende: Ein Aufgabenprogramm der Prioritätsgruppe G2 kann ein niedrigerprioritäres Aufgabenprogramm der gleichen Prioritätsgruppe G2 nur zwischen zwei abgeschlossenen Teilaufgabenprogrammen unterbrechen. Wenn also während der Abarbeitung eines Aufgabenprogramms aus der Prioritätsgruppe G2 die Anforderung eines Aufgabenprogramms aus der gleichen Prioritätsgruppe G2 erscheint, so wird das gerade rechnende Aufgabenprogramm nicht unmittelbar unterbrochen, sondern erst nachdem die Abarbeitung des rechnenden Teilaufgabenprogramms beendet ist. Wenn hingegen ein Aufgabenprogramm der Prioritätsgruppe G1 sich gerade im Zustand "Rechnen" befindet, und es erfolgt die Anforderung der Abarbeitung eines Aufgabenprogramms aus der Prioritätsgruppe G2, so wird das gerade rechnende Aufgabenprogramm unmittelbar (preemptiv) unterbrochen. Wenn z. B. ein Aufgabenprogramm der Prioritätsgruppe G2 sich im Zustand "Rechnen" befindet, und es erfolgt die Anforderung der Abarbeitung eines Aufgabenprogramms aus der Prioritätsgruppe G4, so wird das gerade rechnende Aufgabenprogramm wiederum unmittelbar unterbrochen. Ein höherprioritäres Aufgabenprogramm aus der Prioritätsgruppe G5 kann wiederum ein niedrigerprioritäres Aufgabenprogramm aus der gleichen Prioritätsgruppe G5 nicht unmittelbar unterbrechen, sondern nur zwischen abgeschlossenen Teilaufgabenprogrammen.

Die Fig. 9b zeigt eine äquivalente Darstellung für die Fig. 9a. Hier kommt einem Aufgabenprogramm nicht nur eine Prioritätsstufe zu, sondern ggf. auch noch eine Subprioritätsstufe. Für die Hauptprioritätsstufen 1, 3, 4 sind keine Subprioritäten mehr vorgesehen. Diese speziellen Fälle entsprechen einer "degenerierten" Prioritätsgruppe G1, G3, G4 mit nur einem Element.

Die Fig. 10 zeigt eine sehr praxisgerechte Aufteilung der Aufgabenprogramme eines typischen komplexen Steuerprogramms in Prioritätsgruppen. Die Prioritätsgruppe G6 besteht aus sämtlichen Aufgabenprogrammen der Prioritätsstufen 1—7. Es sind also in der Prioritätsgruppe G6 all die Aufgabenprogramme zusammengefaßt, an die gemäßigte bis geringe Echtzeitanforderungen gestellt werden. Aus diesem Grund weisen diese Aufgabenprogramme auch die niedrigsten Prioritäten auf. Alle Aufgabenprogramme mit sehr harten Echtzeitanforderungen und dementsprechend hohen Prioritäten sind dabei zu degenerierten Prioritätsgruppen G7 und G8 mit nur jeweils einer Prioritätsstufe zusammengefaßt. Es existiert bei dieser Darstellung ein Prioritätsschwellwert PS dergestalt, daß alle Aufgabenprogramme, deren Priorität gleich oder höher als dieser Schwellwert ist, andere niedrigerprioritäre Aufgabenprogramme an jeder beliebigen Stelle (preemptiv) unterbrechen dürfen. Dadurch, daß nur wenige Aufgabenprogramme die Erlaubnis haben, andere Aufgabenprogramme an jeder beliebigen Stelle (preemptiv) zu unterbrechen, wird der RAM-Bedarf für den Stapelspeicher und der Aufwand für die Aufgabenprogrammsynchronisation und Datenkonsistenzsicherung in einem erträglichen Maß gehalten.

Die gemischte Ablaufsteuerung für die Aufteilung der Aufgabenprogramme gemäß Fig. 10 läßt sich in einem Betriebssystem für das Steuergerät so realisieren, daß das Ablaufsteuerungsverfahren, wie zu den Fig. 6 und 7 beschrieben, auf niedrigster Priorität eines aus dem Stand der Technik bekannten preemptiven Ablaufsteuerungssystems abläuft.

In Fig. 11 sind drei mögliche Fälle von Unterbrechungsanforderungen in Verbindung mit der Aufteilung der Aufgabenprogramme gemäß Fig. 10 dargestellt. In Fig. 11a wird ein Aufgabenprogramm aus der Prioritätsgruppe G6 abgearbeitet. Dieses Aufgabenprogramm ist in Teilaufgabenprogramme eingeteilt. Zum Zeitpunkt t_1 wird die Abarbeitung eines Aufgabenprogramms mit der Prioritätsstufe 6 angefordert. Dieses Aufgabenprogramm kann jedoch das gerade rechnende Aufgabenprogramm nicht unmittelbar unterbrechen, so daß erst das Teilaufgabenprogramm des rechnenden Aufgabenprogramms abgeschlossen wird, bevor das Aufgabenprogramm mit der Prioritätsstufe 6 zur Abarbeitung gelangt.

Fig. 11b zeigt den Fall, daß gerade ein Aufgabenprogramm der Prioritätsstufe 6 abgearbeitet wird. Zum Zeitpunkt t_2 ergeht die Anforderung für die Abarbeitung eines Aufgabenprogramms aus der Prioritätsstufe 8. Dieses Aufgabenprogramm unterbricht das gerade rechnende Aufgabenprogramm unmittelbar und gelangt sofort zur Abarbeitung. Das unterbrochene Teilaufgabenprogramm wird anschließend fortgeführt.

In Fig. 11c ist der Fall betrachtet, daß ein Aufgabenprogramm der Prioritätsstufe 8 abgearbeitet wird. Zum Zeitpunkt t_3 ergeht die Anforderung zur Abarbeitung eines Aufgabenprogramms mit der Prioritätsstufe 5. In diesem Fall findet keine Unterbrechung des rechnenden Aufgabenprogramms statt. Das rechnende Aufgabenprogramm wird erst vollständig abgearbeitet und da-

nach gelangt das Aufgabenprogramm aus der Prioritätsgruppe G6 zur Abarbeitung.

Die Erfindung ist nicht auf das hier beschriebene Ausführungsbeispiel beschränkt. Sie ist insbesondere nicht auf Anwendungen in Kraftfahrzeug-Steuergeräten beschränkt. Ein entsprechend der Erfindung arbeitendes Betriebssystem kann z. B. auch in Rechenanlagen zur Prozeßsteuerung (z. B. chemische Prozesse), für Industriesteuerungsanlagen (Werkzeugmaschinen, Roboter, etc.) oder auch in Steuerungsanlagen für Haushaltsgeräte (Waschmaschinen, etc.) eingesetzt werden. Dabei ist der Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens insbesondere immer dann vorteilhaft, wenn die Vorgänge oder Prozesse in Echtzeit gesteuert/geregelt werden sollen.

Die Einteilung des komplexen Steuerprogramms in eine Anzahl von Aufgabenprogrammen und die Einteilung der Aufgabenprogramme zumindest zum Teil in eine Anzahl von Teilaufgabenprogrammen ist von dem jeweiligen Anwendungsfall abhängig und kann in Art und Anzahl stark variieren.

Die Verwendung von Zeigern als Referenzen auf Datenobjekte ist für die Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens nicht zwingend. Statt dessen können die Datenobjekte auch in Tabellen abgelegt werden, so daß als Referenz der Tabellenindex des Datenobjekts dienen kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung von technischen Vorgängen oder Prozessen, insbesondere im Kraftfahrzeug, wobei ein komplexes Steuerprogramm von einem Mikrorechner eines Steuergerätes abgearbeitet wird, wobei das komplexe Steuerprogramm in eine Anzahl von Aufgabenprogrammen eingeteilt ist, wobei einem Aufgabenprogramm eine Priorität und ein Aktivierungsereignis zugeordnet ist, wobei jeweils das angeforderte Aufgabenprogramm mit der höchsten Priorität für die Abarbeitung ausgewählt wird, wobei die Abarbeitung eines Aufgabenprogramms aufgrund einer späteren Anforderung der Abarbeitung eines höherprioritären Aufgabenprogramms unterbrochen wird und die Abarbeitung des unterbrochenen Aufgabenprogramms nach Beendigung der Abarbeitung des höherprioritären Aufgabenprogramms fortgesetzt wird, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Aufgabenprogramm (A, B, C oder D) jeweils in eine Folge von Teilaufgabenprogrammen (A1, A2, A3; B1, B2, B3; C1, C2, C3; D1, D2, D3) eingeteilt wird, daß die Abarbeitung des später angeforderten höherprioritären Aufgabenprogramms (D) erst dann begonnen wird, wenn die Abarbeitung des Teilaufgabenprogramms (A2) währenddessen die Anforderung für die Abarbeitung des höherprioritären Aufgabenprogramms (B) erging, vollständig zu Ende geführt ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Folge von Teilaufgabenprogrammen (A1 bis D3) des mindestens einen Aufgabenprogramms (A bis D) nach Ablaufgesichtspunkten zusammengestellt wird, wobei als Ablaufgesichtspunkt der Anlaß der Anforderung auf Aufgabenprogrammabarbeitung, insbesondere Programmstart, Programmende, Ablauf einer Zeitperiode, Ablauf einer Winkelperiode, oder der Eintritt von externen oder internen Ereignissen, die damit ver-

bundene Dringlichkeit sowie Synchronisationsbedingungen zwischen den Teilaufgabenprogrammen (A1 bis A3) berücksichtigt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Teilaufgabenprogramm (A1 bis D3) nur so umfangreich gestaltet wird, daß die Zeit für seine Abarbeitung seitens des Mikrorechners (11) eine vorbestimmte Grenze nicht überschreitet.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für das mindestens eine Aufgabenprogramm (A bis D) mindestens eine Teilaufgabenprogrammzeigertabelle (31 bis 34) vorgesehen wird, in der für jedes Teilaufgabenprogramm (A1 bis D3) ein Teilaufgabenprogrammzeiger (ZA1 bis ZD3) vorgesehen wird, der auf den Anfang des ihm zugeordneten Teilaufgabenprogramms (A1 bis D3) zeigt, daß weiterhin ein Tabellenzeiger (39) vorgesehen wird, der in der Teilaufgabenprogrammzeigertabelle (31 bis 34) jeweils auf den Teilaufgabenprogrammzeiger (A1 bis D3) zeigt, der seinerseits auf das Teilaufgabenprogramm (A1 bis D3) zeigt, das zu diesem Zeitpunkt als das als nächstes abzuarbeitende Teilaufgabenprogramm gilt, und daß der Tabellenzeiger (39) nach der Abarbeitung eines Teilaufgabenprogramms (A1 bis D3) um einen vorgegebenen Wert inkrementiert wird, so daß er wiederum auf den Teilaufgabenprogrammzeiger (A1 bis D3) des Teilaufgabenprogramms (A1 bis D3) zeigt, das zu diesem Zeitpunkt als das als nächstes abzuarbeitende Teilaufgabenprogramm gilt, daß ferner dasjenige Teilaufgabenprogramm (A1 bis D3) abgearbeitet wird, auf dessen Teilaufgabenprogrammzeiger (ZA1 bis ZD3) der Tabellenzeiger (39) vor der Inkrementierung zeigte.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der jeweils letzte Teilaufgabenprogrammzeiger (ZAE bis ZDE) einer Teilaufgabenprogrammzeigertabelle (31 bis 34) so ausgerichtet wird, daß er auf ein bestimmtes Teilaufgabenprogramm (AE) zeigt, während dessen Abarbeitung der Tabellenzeiger (39) wieder korrekt auf einen gültigen Teilaufgabenprogrammzeiger (ZA1 bis ZD2) ausgerichtet wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß dem mindestens einen Aufgabenprogramm (A bis D) eine beschreibende Datenstruktur (35 bis 38) zugeordnet wird, die die Priorität des Aufgabenprogramms (A bis D), einen Zeiger (ZZA1 bis ZZD1) auf den Beginn einer zugehörigen Teilaufgabenprogrammzeigertabelle (31 bis 34) und Informationen über den Abarbeitungsstatus des Aufgabenprogramms (A bis D) enthält und deren Adresse als Referenz und Identifizierer für das zugehörige Aufgabenprogramm (A bis D) dient.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für ein Aufgabenprogramm (A bis D) nur die drei Zustände "ruhend" (50), "rechenbereit" (51) und "rechnend" (52) vorgesehen werden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Ablaufsteuerungstabelle (40) zur Verwaltung der zur Abarbeitung angeforderten Aufgabenprogramme (A bis D) vorgesehen wird, die nach Prioritäten geordnet ist und Informationen über die in Abarbeitung

befindlichen oder zur Abarbeitung angeforderten Aufgabenprogramme (A bis D) enthält, daß insbesondere in diese Ablaufsteuerungstabelle (40) für jede Priorität ein Zeiger (ZDA bis ZDD) auf die beschreibende Datenstruktur (35 bis 38) des auf dieser Prioritätsstufe zur Abarbeitung angeforderten Aufgabenprogramms (A bis D) und ein Zeiger (ZZA1 bis ZZD3) auf den Zeiger (ZA1 bis ZD3) der Teilaufgabenprogrammzeigertabelle (31 bis 34) aufgespeichert wird, der für das zur Abarbeitung angeforderte Aufgabenprogramm (A bis D) dieser Prioritätsstufe das Teilaufgabenprogramm (A1 bis D3) kennzeichnet, mit dem das zur Abarbeitung angeforderte Aufgabenprogramm (A bis D) bei einem späteren Aufgabenprogrammwechsel gestartet oder nach einer erfolgten Unterbrechung fortgesetzt werden soll und daß ferner Nullzeiger in die Ablaufsteuerungstabelle (40) eingetragen werden, wenn auf der entsprechenden Prioritätsstufe kein Aufgabenprogramm (A bis D) zur Abarbeitung angefordert ist.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei jeder Anforderung zur Abarbeitung eines Aufgabenprogramms (A bis D), dessen Priorität kleiner ist als die Priorität des höchstprioritären, zu diesem Zeitpunkt zur Abarbeitung angeforderten Aufgabenprogramms (A bis D), ein Zeiger (ZDA bis ZDD) auf die zu diesem Aufgabenprogramm (A bis D) gehörige beschreibende Datenstruktur (35 bis 38) sowie ein Zeiger (ZZA1 bis ZZD1) auf den Beginn der zugehörigen Teilaufgabenprogrammzeigertabelle (31 bis 34) in der Ablaufsteuerungstabelle (40) unter der zugehörigen Prioritätsstufe abgespeichert wird, daß bei jeder Anforderung zur Abarbeitung eines Aufgabenprogramms (B), dessen Priorität größer ist als die Priorität des höchstprioritären, zu diesem Zeitpunkt (t₄) zur Abarbeitung angeforderten Aufgabenprogramms (A), der aktuelle Wert des Tabellenzeigers (39) in der Ablaufsteuerungstabelle (40) unter der entsprechenden Prioritätsstufe abgespeichert wird und daß ein Zeiger (ZDB) auf die zugehörige beschreibende Datenstruktur (36) und ein Zeiger (ZZB1) auf den Beginn der zugehörigen Teilaufgabenprogrammzeigertabelle (32) des zur Abarbeitung angeforderten Aufgabenprogramms (B) unter der entsprechenden Prioritätsstufe abgespeichert wird, daß der Tabellenzeiger (39) auf den ersten Zeiger (ZB1) der Teilaufgabenprogrammzeigertabelle (32) des zur Abarbeitung angeforderten Aufgabenprogramms (B) ausgerichtet wird, wodurch ein Aufgabenprogrammwechsel nach Abarbeitung des gerade rechnenden Teilaufgabenprogramms (A2) vorbereitet wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß bei jeder Beendigung eines Aufgabenprogramms (C,B) die zugehörigen Einträge auf der betreffenden Prioritätsstufe in der Ablaufsteuerungstabelle (40) gelöscht und die Ablaufsteuerungstabelle (40) in Richtung absteigender Prioritäten nach dem nun höchstprioritären Aufgabenprogramm (B, A) durchsucht wird und der Tabellenzeiger (39) mit dem in der Ablaufsteuerungstabelle (40) auf der neuen Prioritätsstufe eingetragenen Wert geladen und dadurch auf einen Teilaufgabenprogrammzeiger (ZB3, ZA3) der Teilaufgabenprogrammzeigertabelle (32, 33) des nun höchstprioritären Aufgabenprogramms (B, A) ausgerichtet wird, wo-

durch dieses beim nächsten Teilaufgabenprogrammwechsel in den rechnenden Zustand (52) überführt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Ablaufsteuerungstabelle (40) für jede Prioritätsstufe um einen First-In-First-Out-Speicher erweitert wird, der es erlaubt, daß noch weitere Aufgabenprogramme (A bis D) einer Prioritätsstufe zur Abarbeitung angefordert werden können, wenn bereits ein Aufgabenprogramm (A bis D) gleicher Prioritätsstufe zur Abarbeitung angefordert ist, indem bei einer weiteren Anforderung zur Abarbeitung eines Aufgabenprogramms (A bis D) auf dieser Prioritätsstufe ein Zeiger (ZDA bis ZDD) auf die zugehörige beschreibende Datenstruktur (35 bis 38) in den First-In-First-Out-Speicher eingetragen wird, und bei Beendigung eines Aufgabenprogramms (A bis D) auf dieser Prioritätsstufe der Zeiger auf die beschreibende Datenstruktur (35 bis 38) des Aufgabenprogramms (A bis D) mit der längsten Wartezeit aus dem First-In-First-Out-Speicher entnommen, dort gelöscht, und in die Ablaufsteuerungstabelle (40) eingetragen wird und, daß das zugehörige Aufgabenprogramm (A bis D), sofern zwischenzeitlich keine Anforderung zur Abarbeitung eines höherprioritären Aufgabenprogramms erging, beim nächsten Teilaufgabenprogrammwechsel in den rechnenden Zustand überführt wird, indem der Tabellenzeiger (39) auf den ersten Zeiger (ZA1 bis ZD1) der zu diesem Aufgabenprogramm (A bis D) gehörigen Teilaufgabenprogrammzeigertabelle (31 bis 34) ausgerichtet wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in einem Aufgabenprogramm (A bis D) auch innerhalb eines ansonsten für andere Aufgabenprogramme (A bis D) nicht unterbrechbaren Teilaufgabenprogramms (A1 bis D3) eine Unterbrechungsstelle für andere Aufgabenprogramme (A bis D) geschaffen wird, indem an dieser Stelle ein für diesen Zweck eingerichtetes Betriebssystem-Unterprogramm aufgerufen wird, das die Abarbeitung angeforderter Aufgabenprogramme höherer Priorität veranlaßt und anschließend wieder in das unterbrochene Teilaufgabenprogramm zurückkehrt, wobei die temporären Daten des unterbrochenen Teilaufgabenprogramms (A1 bis D3) auf einem Stapelspeicher abgespeichert bleiben.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Unterbrechungsstelle so eingerichtet wird, daß die Zeit für die Abarbeitung der durch das Betriebssystem-Unterprogramm separierten Teilstücke eines Teilaufgabenprogramms (A1 bis D3) die vorbestimmte Grenze nicht überschreitet.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß neben Aufgabenprogrammen (A bis D), die andere Aufgabenprogramme (A bis C) niedrigerer Priorität nur zwischen abgeschlossenen Teilaufgabenprogrammen (A1 bis C3) oder an den Unterbrechungsstellen gemäß Anspruch 12 unterbrechen können, auch eine bestimmte Anzahl von Aufgabenprogrammen (E bis H) so verwaltet wird, daß sie andere niedrigerprioritäre Aufgabenprogramme (A bis G) an beliebigen Stellen unterbrechen dürfen.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekenn-

zeichnet, daß die Aufgabenprogramme zu sich nicht überschneidenden Prioritätsgruppen (G1—G8) zusammengefaßt werden, wobei eine Prioritätsgruppe (G1—G8) mindestens aus einem einzelnen Aufgabenprogramm oder einer Anzahl von Aufgabenprogrammen mit benachbarten Prioritätsstufen besteht und daß zur Ablaufsteuerung die folgenden Regeln eingehalten werden:

- a) Ein Aufgabenprogramm einer Prioritätsgruppe (G2, G5, G6) darf ein anderes Aufgabenprogramm mit niedriger Priorität aus derselben Prioritätsgruppe (G2, G5, G6) nur zwischen zwei Teilaufgabenprogrammen und/oder an den gemäß Anspruch 12 eingefügten Unterbrechungsstellen unterbrechen,
 - b) ein Aufgabenprogramm einer Prioritätsgruppe (G2—G8) darf ein anderes Aufgabenprogramm mit niedrigerer Priorität aus einer anderen Prioritätsgruppe (G1—G7) an beliebiger Stelle unterbrechen,
 - c) ein Aufgabenprogramm einer Prioritätsgruppe (G1—G8) darf ein Aufgabenprogramm derselben oder einer anderen Prioritätsgruppe (G1—G8) mit höherer oder gleicher Priorität nicht unterbrechen.
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufteilung der Aufgabenprogramme in Prioritätsgruppen (G6—G8) so erfolgt, daß alle Aufgabenprogramme, deren Priorität unterhalb eines vorgegebenen Prioritätsschwellwertes (PS) liegt, zu einer Prioritätsgruppe (G6) zusammengefaßt werden und alle anderen Aufgabenprogramme jeweils separate Prioritätsgruppen (G7, G8) mit nur einem oder mehreren Aufgabenprogrammen gleicher Prioritätsstufe bilden.

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

Fig. 1

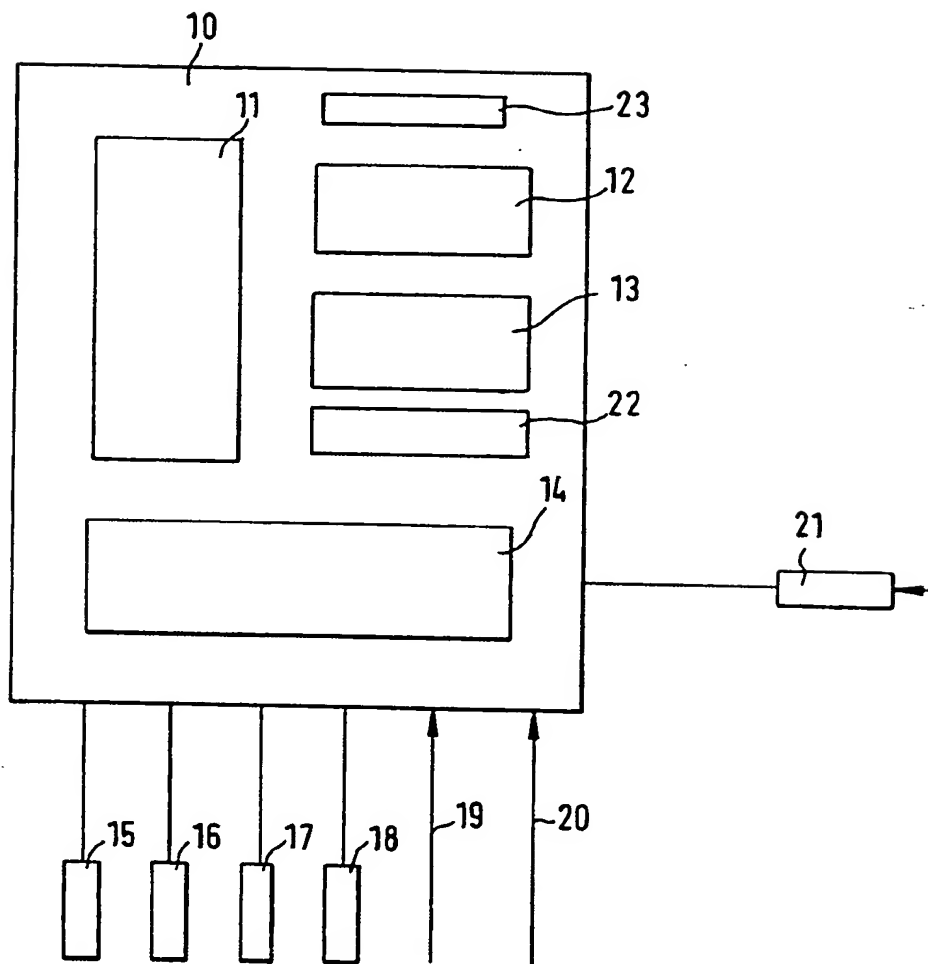


Fig. 2

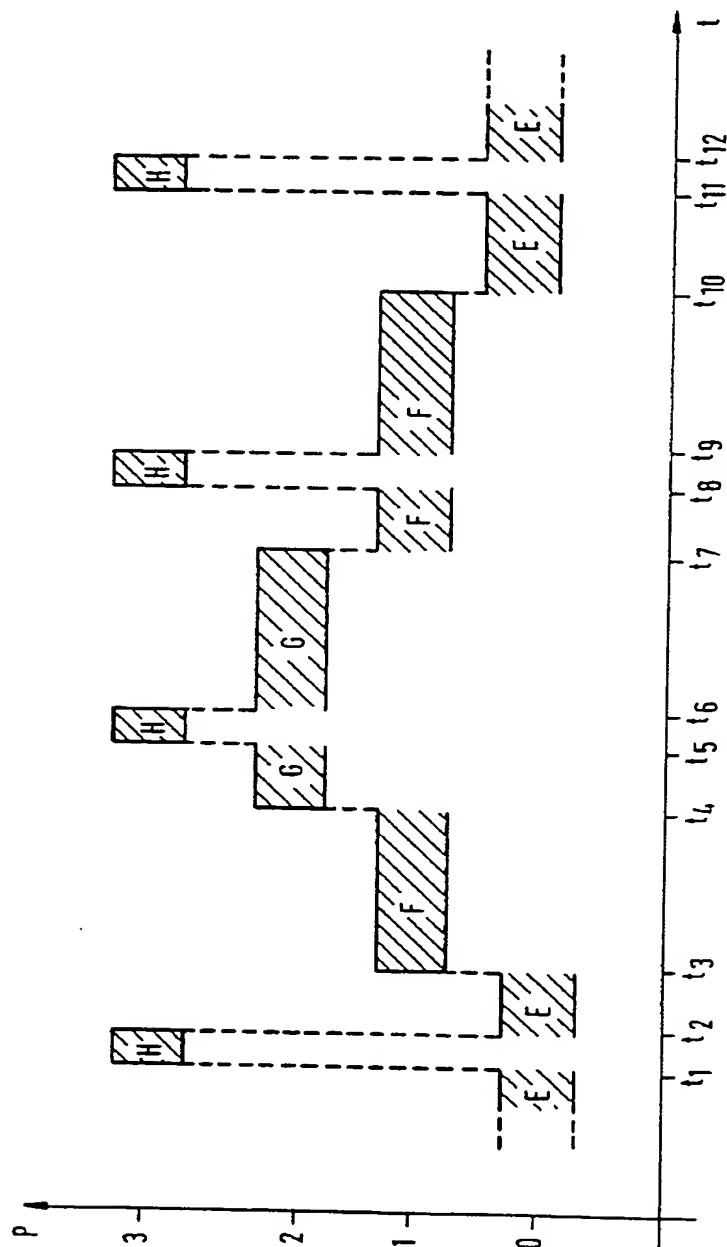


Fig. 3

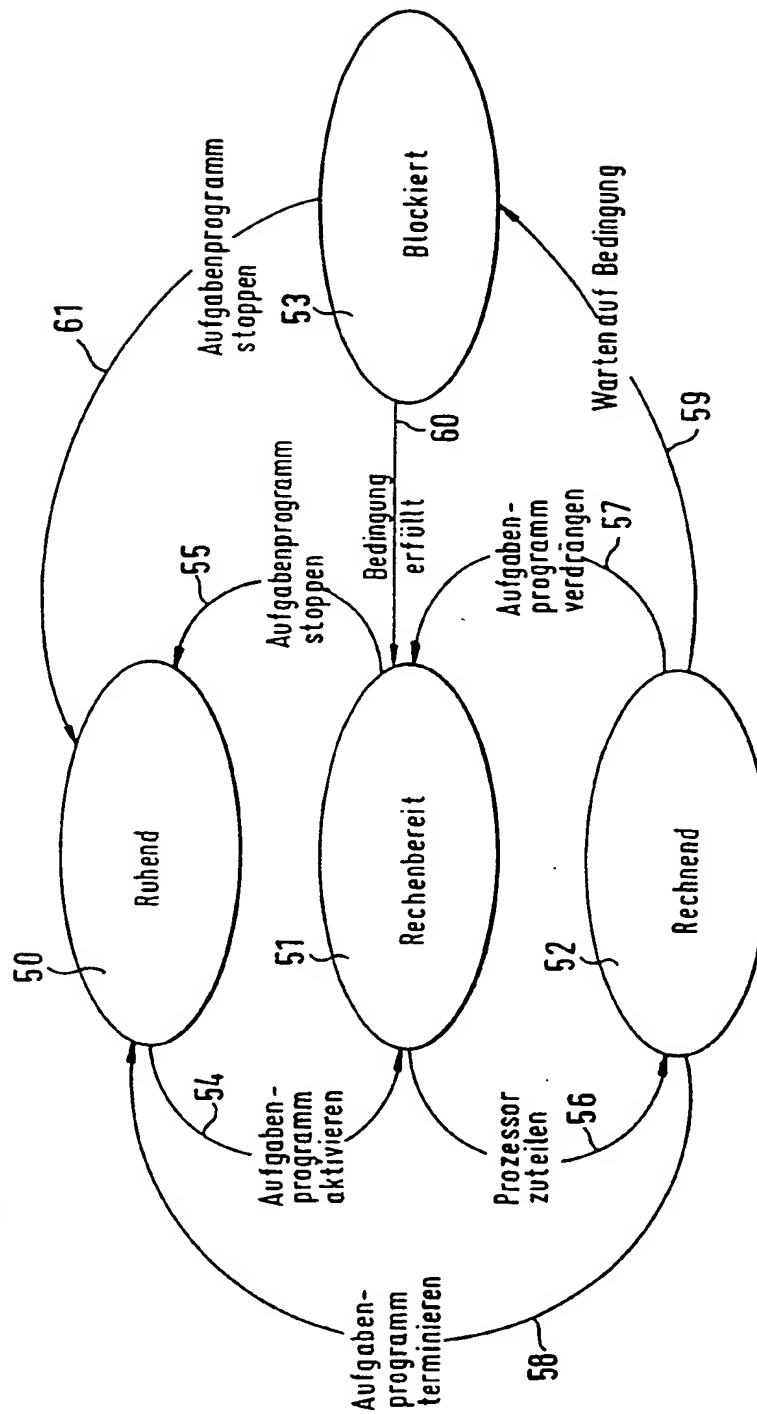


Fig. 4

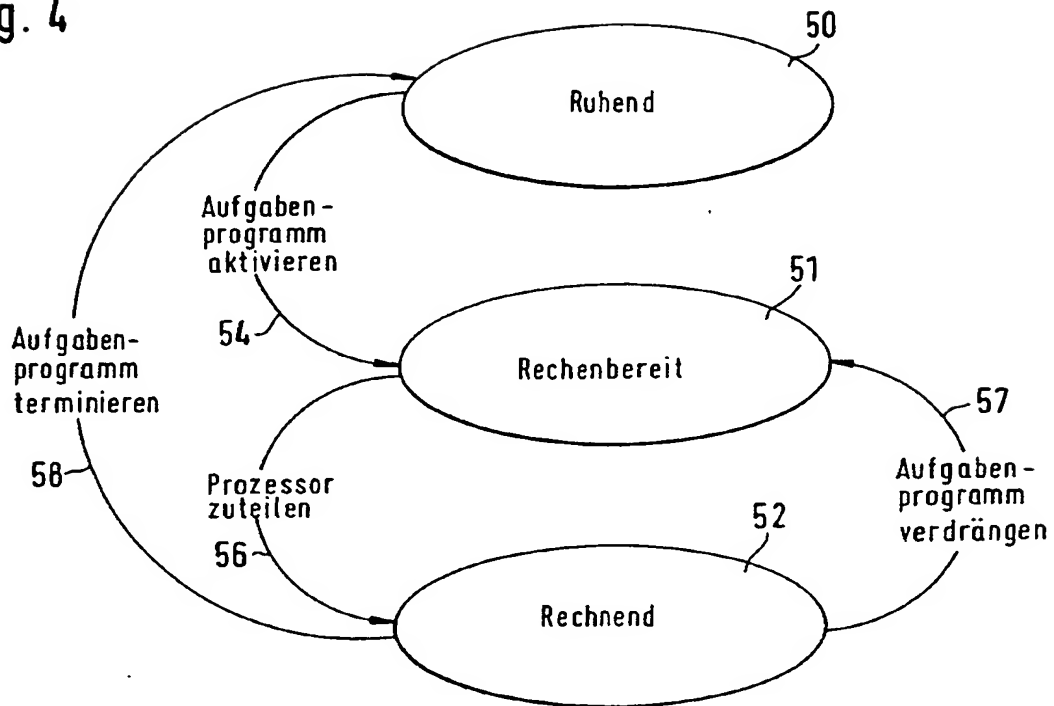
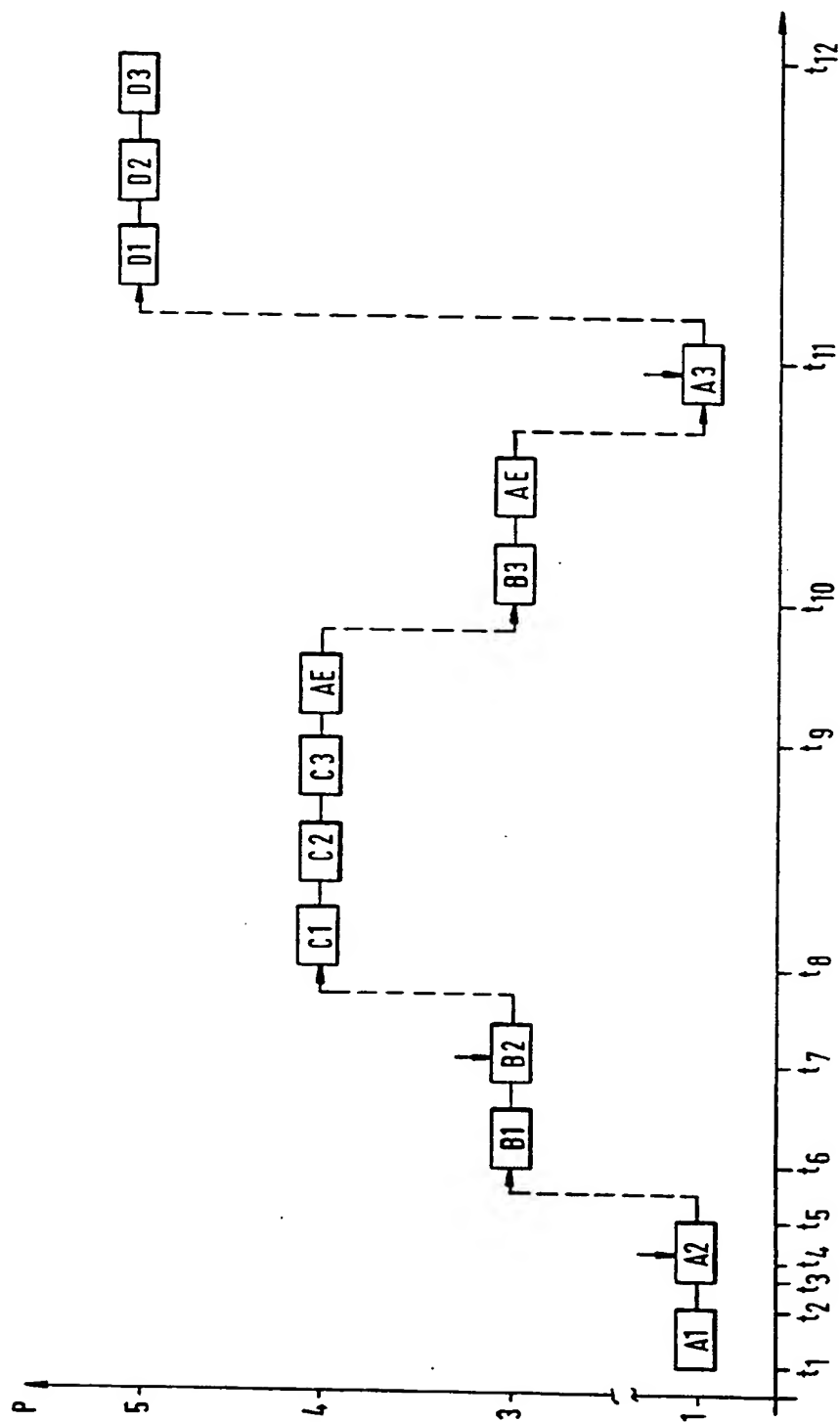


Fig. 5



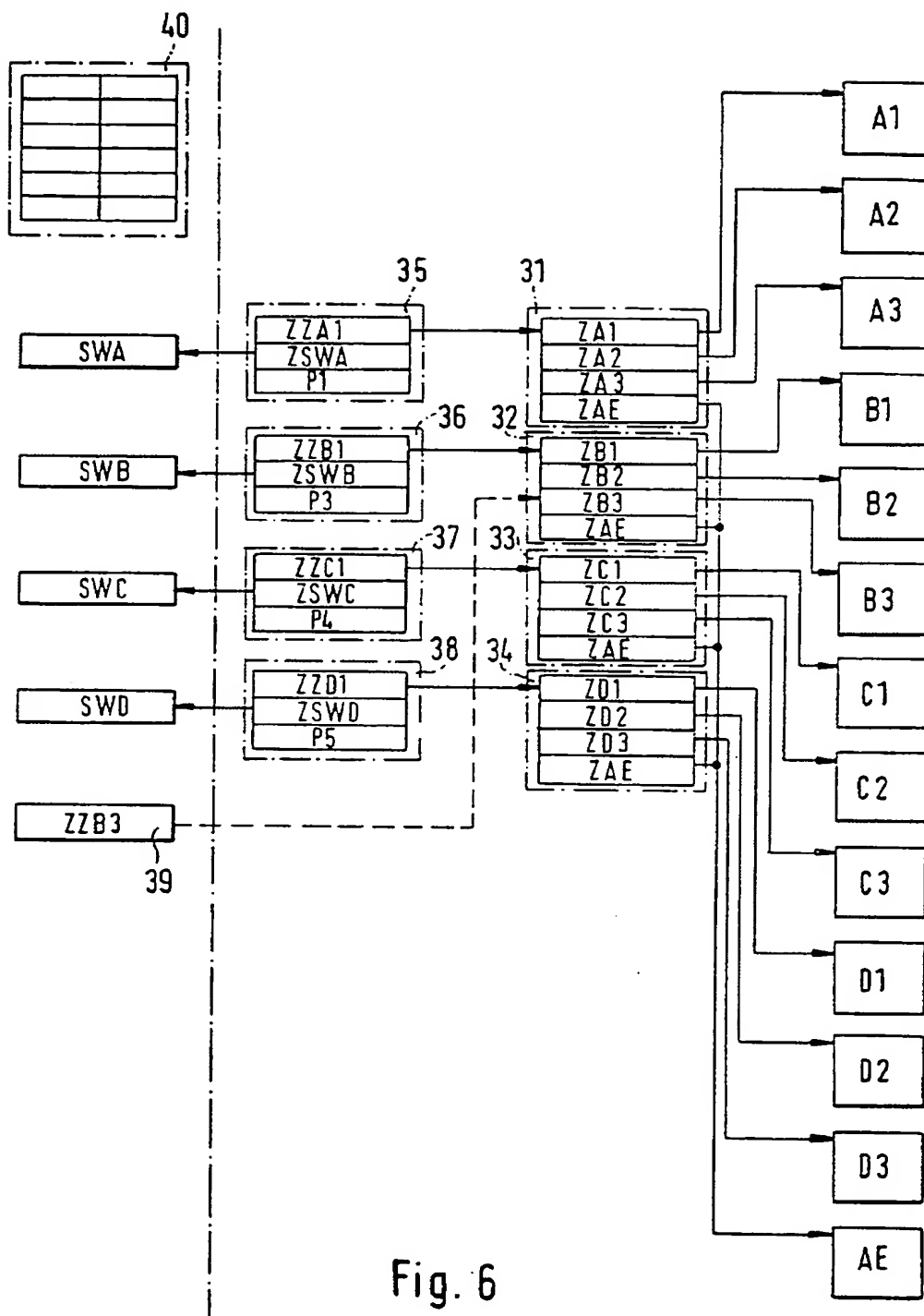


Fig. 7

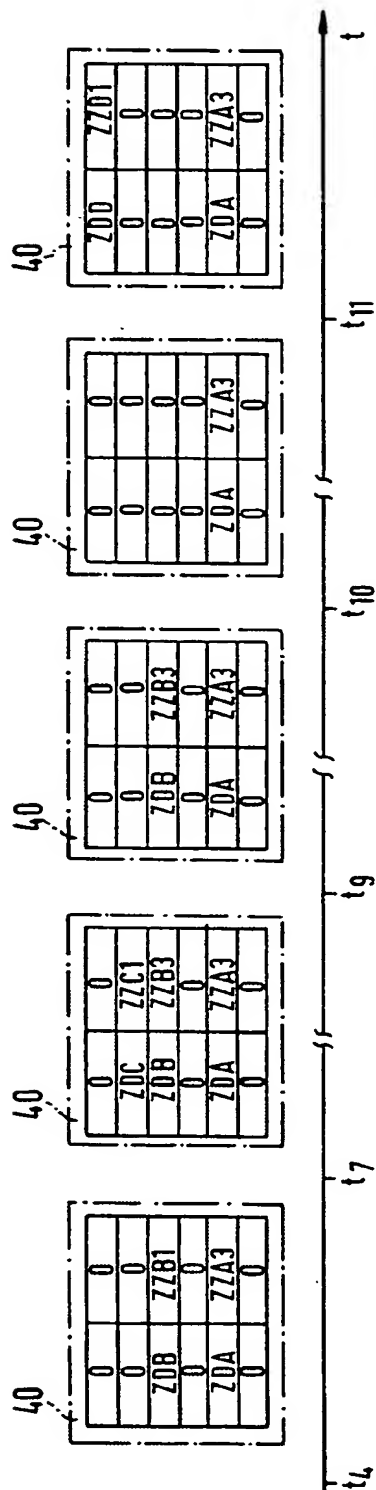
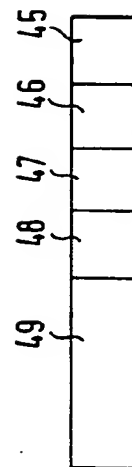
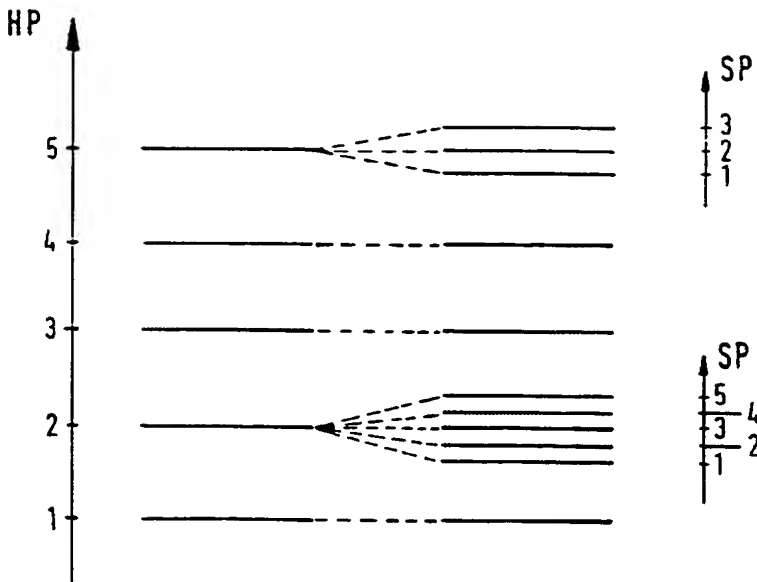
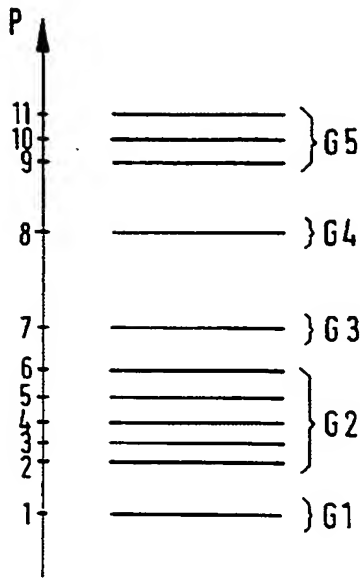
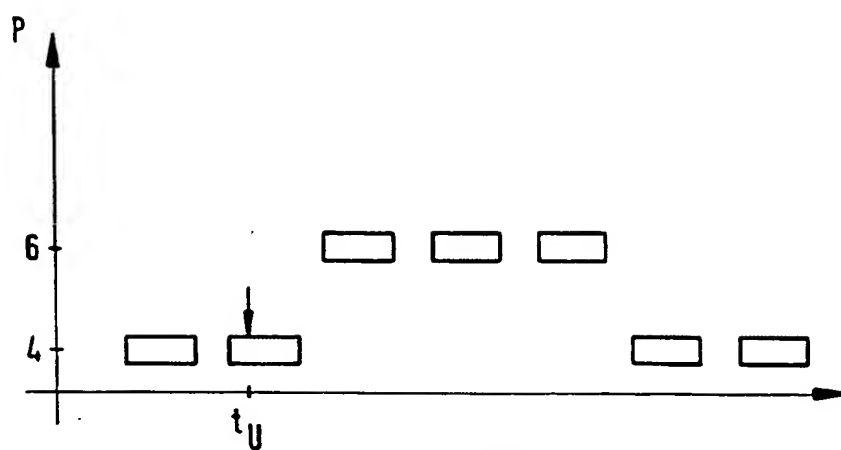
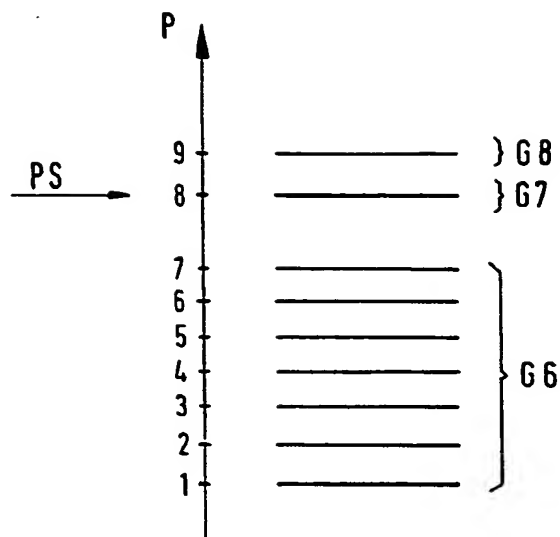


Fig. 8







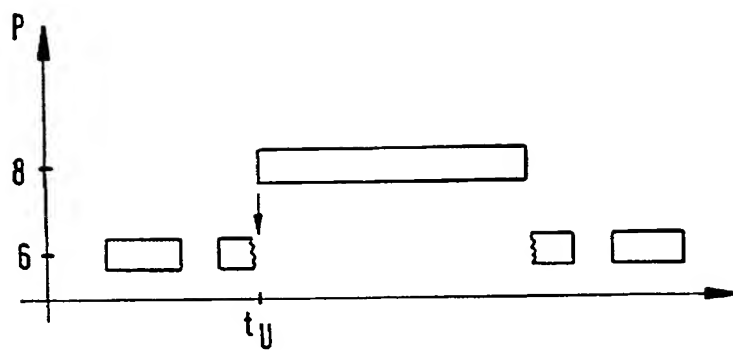


Fig. 11b

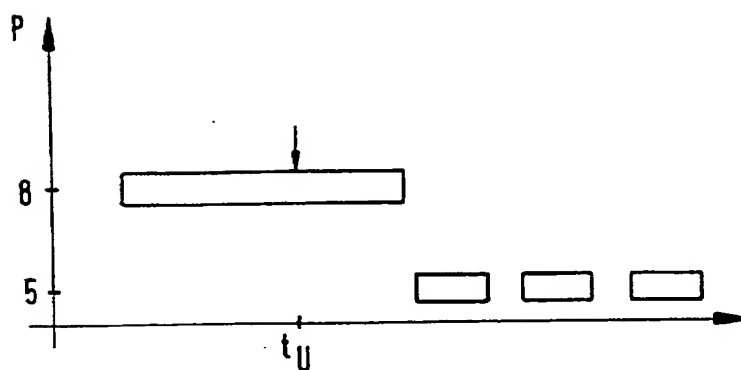


Fig. 11c